Akustik Lingkungan

Leslie L. Doelle, Eng., M. Arch.

Acoustical Consultant
Associate Professor, University of Montreal
Lecturer, McGill University
Visiting Professor, Laval University

Dra. Lea Prasetio M. Sc.
Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya

Akustik Lingkungan

729.29
Doc
9-1
1986

PENERBIT ERLANGGA
Jl. H. Baping Raya No. 100
Ciracas, Jakarta 13740
e-mail: mahameru@rad.net.id
(Anggota IKAPI)

Judul Asli: *ENVIRONMENTAL ACOUSTICS*

Hak Cipta dalam bahasa Inggris © 1972 pada McGraw-Hill, Inc.
Hak Terjemahan dalam bahasa Indonesia pada ***Penerbit Erlangga***
dengan perjanjian resmi tertanggal 31 Mei 1985.

Alih Bahasa : **Dra. Lea Prasetio, M.Sc.**
Jurusan Fisika-MIPA
Institut Teknologi 10 November Surabaya

Buku ini diset dan dilay-out oleh Bagian Produksi ***Penerbit Erlangga***
dengan huruf BA-11-M.

04 03 02 01 00 10 9 8 7 6 5 4

Dicetak oleh : **PT. Gelora Aksara Pratama**

*Dilarang keras menjiplak, memfotokopy atau memperbanyak sebagian seluruh isi buku ini serta memperjual-belikannya tanpa izin tertulis dari **Penerbit Erlangga**.*

© HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG

Dalam praktek bangunan masa kini, pertambahan tingkat bising dan sumber bising amat banyak. Ini berarti bahwa penampilan akustik suatu bangunan akan sangat bergantung pada perhatian yang diberikan oleh arsitek pada persyaratan akustik dalam merancang, memperinci, menetapkan dan mengawasi proyek tertentu.

Menyadari kenyataan ini, penulis telah menulis pada beberapa arsitek, dan meminta mereka untuk menjelaskan jenis dan penyajian bahan yang bagaimana yang paling mereka sukai untuk akustik lingkungan. Hampir semua jawaban menginginkan satu jenis publikasi yang memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Harus disajikan sedemikian hingga dapat dimengerti oleh pembaca yang tidak mempunyai pengalaman akustik.
2. Harus memuat perincian matematika atau fisika sesedikit mungkin.
3. Harus memuat rekomendasi/saran yang mudah dan praktis serta memuat banyak acuan untuk pemasangan dalam keadaan sebenarnya.
4. Harus menyertakan gambar bahan dan konstruksi yang digunakan dalam praktek.
5. Harus memungkinkan arsitek memecahkan sendiri masalah-masalah akustik yang relatif mudah namun meningkat jumlahnya dalam pekerjaannya sehari-hari, tanpa tambahan bacaan yang terlampau banyak dan tanpa bantuan seorang ahli akustik.

Buku ini telah ditulis dengan banyak memperhatikan persyaratan-persyaratan di atas. Buku ini didasarkan pada pengalaman mengajar beberapa tahun secara bersamaan pada tiga sekolah arsitektur di Canada, dan juga pada pengalaman pribadi dalam menyelesaikan sejumlah besar masalah-masalah akustik selama 20 tahun.

Walaupun ditujukan untuk para arsitek dan mahasiswa arsitektur, buku ini juga akan berguna bagi para insinyur, penata ruang, pemborong, kontraktor, promotor, ahli bangunan (developer) dan secara umum bagi siapa saja yang pekerjaannya berhubungan dengan masalah akustik lingkungan. Ahli-ahli akustik barangkali tidak akan menemukan sesuatu yang baru dalam buku ini, kecuali mungkin sistem klasifikasi dan kepustakaannya yang agak berbeda.

Buku ini dibagi menjadi empat bagian. Bagian I menjelaskan tentang judul buku ini dan membahas istilah-istilah yang penting. Bagian II meliputi akustik ruang, yaitu rancangan akustik suatu auditorium (ruang besar untuk mempertunjukkan musik atau sandiwara), seperti ruang kuliah, teater, ruang konser, rumah opera, gedung bioskop, gereja, studio bunyi dan teater terbuka. Bagian III membahas bermacam-macam aspek dan metoda pengendalian bising lingkungan, termasuk tembok, lantai, pintu, jendela pengisolasi bunyi; serta juga pengendalian bising dalam auditorium, daerah pemukiman, hotel, motel, sekolah, rumah sakit, kantor dan bangunan-bangunan industri. Bagian IV berhubungan dengan pelaksanaan, pengawasan dan pemeriksaan pekerjaan akustik. Lampiran-lampiran memuat tabel koefisien penyerapan bunyi bermacam-macam bahan dan sifat akustik-arsitektur konstruksi tembok dan lantai pilihan

dengan terperinci. Pada akhir tiap bab terdapat kepustakaan untuk bacaan tambahan. Lampiran D memuat daftar buku akustik-arsitektur yang sifatnya lebih umum.

Gambar dan foto sebagian besar diambil dari pekerjaan saya sendiri, karena bahan-bahan tersebut telah ada, tetapi karya ahli-ahli akustik lain juga telah sangat menunjang buku ini.

Terima kasih dan penghargaan saya ditujukan pada sejumlah orang yang secara langsung maupun tak langsung telah membantu persiapan buku ini.

Saya sangat berhutang budi pada Guy Desbarats, Dekan School of Architecture, University of Montreal; pada John Bland, Direktur School of Architecture, McGill University, dan pada Paul N. Bourque, Direktur School of Architecture, Laval University, yang memungkinkan saya mengambil waktu-waktu tugas mengajar, untuk menyiapkan buku ini.

Saya ingin menyatakan penghargaan saya yang dalam pada National Research Council di Canada, Ottawa, khususnya pada Dr. Thomas D. Northwood, yang dengan baik hati mengijinkan saya menggunakan hasil-hasil penelitian mereka yang luas.

Saya khususnya berterima kasih pada National Bureau of Standards dan pada U.S. Department of Housing and Urban Development, Washington D.C., atas ijin mereka untuk menggunakan data penting tentang konstruksi tembok dan lantai yang diterbitkan dalam buku mereka yang baik sekali *A Guide to Air-borne, Impact, and Structure-borne Noise Control in Multi-family Dwellings.*

Terima kasih saya yang istimewa ditujukan pada Dr. Leo L. Beranek dan Robert B. Newman dari Bolt, Beranek dan Newman, Inc., yang keberhasilannya yang luar biasa dalam semua bidang akustik serta tulisan-tulisannya yang hebat terus-menerus memberi saya ilham.

Saya ingin menyatakan hutang budi saya pada Acoustical and Insulating Materials Association (semula Acoustical Materials Association), karena terbitan-terbitan mereka yang baik sekali telah menjadi beberapa sumber gambar dalam buku ini.

Saya menyatakan terima kasih atas kerja sama yang baik dengan Public Information Department of Lincoln Center for the Performing Arts Inc., New York, the Public Relations Department of the National Arts Center, Ottawa, dan Place des Arts, Montreal; dan Management Royal Festival Hall, London untuk foto-foto indah yang telah mereka sediakan.

Penghargaan diberikan pada lembaga-lembaga dan perusahaan-perusahaan berikut ini, yang telah menyediakan keterangan teknis berharga mengenai beberapa judul: The Carpet and Rug Institute, US Gypsum Co., Canadian Gypsum Co., Johns-Manville Co., Cominco Ltd., Domtar Ltd., New Castle Products, Inc., Pilkington Glass Ltd., The Proudfoot Co., Owens-Corning Fiberglas Corp., The Celotex Corps., Simpson Timber Co., dan Amber-Booth Co. Bantuan yang diterima dari Rupert Gomes dari Modernfold of Canada Ltd., sangat dihargai.

Semua gambar dalam buku ini adalah karya Serge Melanson dan John Vassiliadis, yang dahulu merupakan mahasiswa-mahasiswa saya yang sangat pandai dan sekarang telah menjadi sarjana arsitek.

Saya terutama berterima kasih pada Nona Maureen Anderson karena ketelitian dan perhatiannya yang luar biasa dalam membaca ulang naskah ketikan ini serta memberikan saran-saran untuk perbaikannya.

Akhirnya saya harus menambahkan lebih dari ucapan terima kasih pada anggota keluarga saya, yang kerja samanya menjadikan persiapan buku ini benar-benar suatu karya keluarga. Terima kasih pada putraku, Robert, seorang insinyur listrik, yang telah memberikan saran-saran yang menonjol sehubungan dengan kerangka teknik dan gaya buku ini; pada putriku, Judy, yang juga menjadi sekretaris saya yang baik sekali, dalam mengurus pengetikan dan surat menyurat; dan pada istriku, Eva, pustakawati Blackader Library of Art and Architecture, McGill University, yang risetnya yang sulit telah merupakan sumbangan yang besar.

Leslie L. Doelle

BAGIAN SATU

Pendahuluan

Akustik Lingkungan dalam Rancangan Arsitektur

Bila nenek moyang kita hidup dalam keadaan yang relatif tenang, maka kita dihadapkan pada pertambahan sumber-sumber bising dan intensitas bising yang luar biasa, baik di dalam maupun di luar gedung, seringkali dengan pengaruh yang menguatirkan bahkan merusak. Pada saat yang sama, telah dapat diterima, praktek untuk mengganti konstruksi bangunan yang biasanya tebal dan berat dengan bahan-bahan bangunan yang tipis, ringan, siap pakai (prefabricated) — kadang-kadang bahkan dapat dipindah-pindahkan. Dalam auditorium, teater, ruang konser, ruang pertemuan, gereja dan gedung bioskop yang banyak dibangun di seluruh dunia juga terdapat pertumbuhan permintaan akan perbaikan yang sungguh-sungguh pada kondisi mendengar. Semua unsur ini telah berperan dalam menjadikan akustik-arsitektur suatu disiplin penting dalam pengendalian lingkungan di dalam maupun di luar ruang.

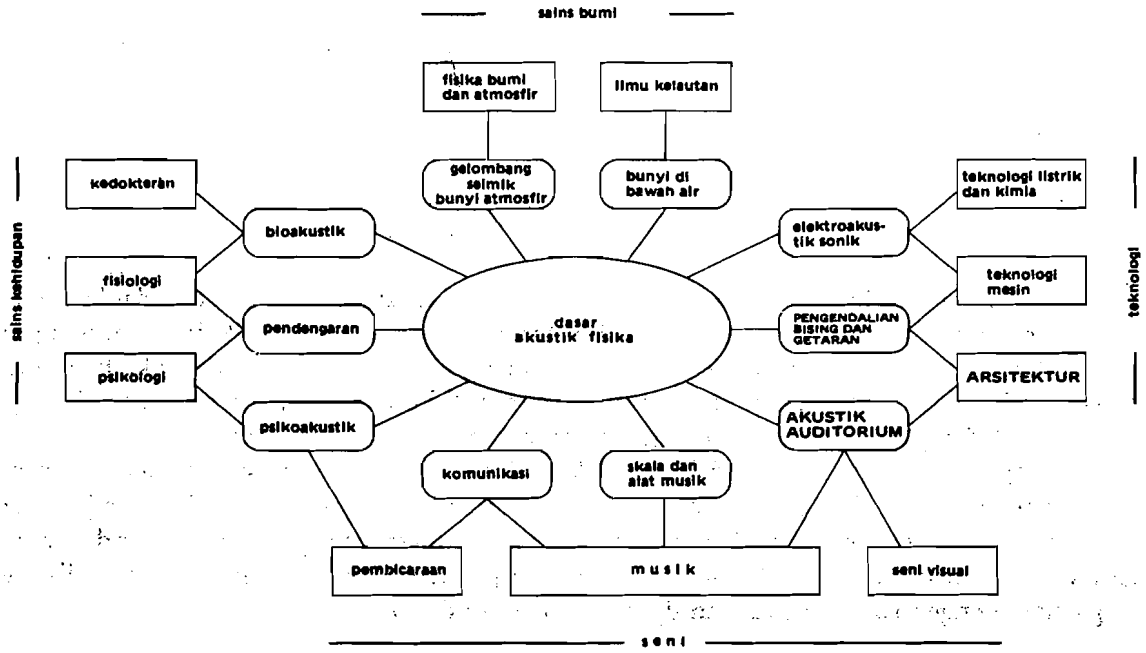
1.1 Ruang Lingkup Akustik

Akustik meliputi jangkauan yang sangat luas, menyentuh hampir semua segi kehidupan manusia (Gambar 1.1). Dokter, psikolog, audiolog dan biolog; pemusik, pencipta lagu, dan para pengusaha pabrik alat-alat musik; ilmuwan komunikasi, ruang angkasa dan komputer; sarjana kelautan; orang-orang yang bekerja di industri radio, televisi dan rekaman; arsitek, ahli tata kota, dan insinyur-insinyur bangunan, mesin, listrik dan kimia — ini sebagai tambahan terhadap yang lain — sedikit atau banyak akan berhubungan dengan beberapa aspek akustik.

1.2 Akustik dalam Pengendalian Lingkungan

Pertumbuhan teknologi sains yang menyolok — pengembangan sumber daya baru, penemuan bahan-bahan sintetik, kemajuan dalam penelitian ruang angkasa serta industri yang bersangkutan, produksi dan penggunaan cahaya dan bunyi buatan, pertambahan derajat otomatisasi dan mekanisasi — telah membantu praktek arsitektur sampai pada suatu keadaan tertentu. Arsitektur sekarang berfungsi lebih dari sekedar menyediakan ruang dan perlindungan bagi penghuninya terhadap penyimpangan termal, atmosfir, cahaya dan bunyi yang berasal dari lingkungan luar. Pengendalian bising saat ini dapat menciptakan lingkungan buatan yang rumit dalam bangunan-bangunan yang telah memenuhi semua persyaratan fisik, fisiologis dan psikologis penghuni-penghuninya. Lingkungan buatan yang diciptakan ini dalam banyak hal lebih unggul dari keadaan alamiah. Tak ada suasana luar yang dapat dibandingkan dengan ruang berudara yang dikondisikan dan berkelembaban yang dikendalikan. Peralatan penerangan yang dapat diperoleh saat ini tidak hanya meniru penerangan siang hari, tetapi juga menciptakan lingkungan penerangan yang lebih baik (tanpa bayangan) yang sangat diperlukan pada kegiatan-kegiatan tertentu. Suatu ruang konser atau studio radio dengan pengendalian bunyi akan menghasilkan suatu lingkungan akustik yang tak ada duanya dalam alam.

Jelaslah bahwa seorang arsitek tidak dapat memiliki semua kemampuan yang diperlukan untuk menghasilkan keadaan lingkungan yang diperbaiki ini dan yang kadang-kadang sangat rumit. Ia harus meminta nasehat pada ahli-ahli mesin, bangunan, penerangan (lighting), akustik dan kadang-kadang ahli lain untuk memenuhi persyaratan penting bagi keamanan, kesehatan, kenyamanan, kepuasan dan produktivitas penghuni suatu bangunan. Tetapi ia harus mempunyai pengertian yang menyeluruh tentang disiplin-disiplin lingkungan; sebagian untuk mengkoordinasikan saran-saran konsultannya dan sebagian untuk memadukan nasehat-nasehat mereka ke dalam gambar dan ciri arsitekur dengan cara yang efisien.



Gambar 1.1 Akustik dan hubungannya dengan seni serta sains.

Akustik lingkungan, atau pengendalian bunyi secara arsitektural, merupakan suatu cabang pengendalian lingkungan pada ruang-ruang arsitektural. Ia dapat menciptakan suatu lingkungan, di mana kondisi mendengarkan secara ideal disediakan, baik dalam ruang tertutup maupun di udara terbuka dan penghuni ruang-ruang arsitektural di dalam maupun di luar akan cukup dilindungi terhadap bising dan getaran yang berlebihan.

Karena itu pengendalian bunyi secara arsitektural mempunyai dua sasaran: (1) Menyediakan keadaan yang paling disukai untuk *produksi, perambatan,* dan *penerimaan* bunyi yang diinginkan (pembicaraan atau musik) di dalam ruang yang digunakan untuk macam-macam tujuan mendengar, atau di udara terbuka. Bidang pengendalian bising arsitektural ini, disebut *akustik ruang,* dan akan dibahas di Bagian II. (2) Peniadaan atau pengurangan bising (bunyi yang tak diinginkan) dan getaran dalam jumlah yang cukup. Ini disebut *pengendalian bising* dan akan ditemukan di Bagian III.

Masalah akustik ruang dan pengendalian bising tentu saja saling berhubungan dan saling bergantung satu sama lain: mereka tak dapat dipisahkan yang satu dari yang lain. Pengendalian bising memegang peranan penting dalam rancangan akustik auditorium. Demikian pula, masalah-masalah akustik ruang tercakup dalam pengendalian bising suatu ruang.

1.3 Masalah Akustik dalam Rancangan Arsitektur Masa Kini

Seorang arsitek yang menghadapi permintaan yang selalu bertambah akan pemukiman, bangunan-bangunan kelembagaan, pendidikan, rekreasi, perdagangan dan industri yang baru akan

menemukan pertambahan jumlah alasan yang sama untuk was-was terhadap penampilan akustik yang menyeluruh dalam pekerjaannya. Hal-hal berikut ini adalah faktor utama yang menimbulkan masalah akustik bagi seorang arsitek:

1. Auditorium (teater, ruang kuliah, gereja, ruang konser, gedung bioskop, dan seterusnya) yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pertambahan penduduk jumlahnya besar. Kebanyakan auditorium ini menghadapi masalah akustik ruang yang belum pernah terjadi sebelumnya. Masalah-masalah ini dan pemecahannya, biasanya membutuhkan penelitian dalam jumlah yang banyak. Riset-riset yang diadakan ini disebabkan karena kebutuhan akan kapasitas penonton yang sangat banyak, kebutuhan akan fleksibilitas dan keserasian hubungan antara penonton-pemain (auditorium bentuk ganda) dan kebutuhan akan penggunaan yang berbeda-beda (pidato, musik, film dan lain-lain) untuk ruang yang sama (auditorium tujuan ganda).

2. Bermacam-macam kecenderungan dalam konsep dasar rancangan arsitektur sebenarnya dapat bertentangan dengan kerahasiaan akustik (acoustical privacy). Suatu aliran misalnya, menganjurkan agar ruang-ruang dalam suatu bangunan digabungkan hingga secara visual menjadi ruang besar yang tak terbagi-bagi, tanpa penyekat [ruang kelas pengajaran kelompok, kantor terbuka (landscape office), dan seterusnya]. Tak dapat disangkal, konsep rancangan ini memang menciptakan interior yang berguna dan menyenangkan; namun ia bertentangan dengan prinsip pengendalian bising tentang pemisahan sumber-sumber bunyi yang mengganggu. Suatu aliran lain menyukai kebebasan umum dalam tata ruang arsitektur bangunan; tanpa mengindahkan prinsip untuk menempatkan daerah-daerah bising sejauh mungkin dari daerah-daerah yang membutuhkan ketenangan. Seringkali, ruang dengan peralatan mekanis yang bising ditempatkan di atas suatu auditorium, atau tempat oleh raga berdampingan dengan ruang musik suatu sekolah. Dalam hal-hal itu biaya tambahan untuk pengendalian bising pasti akan melebihi penghematan dalam biaya pemasangan mesin tadi.

3. Dalam bidang bangunan dan konstruksi, agar menghemat ruang dan biaya, bahan bangunan dan konstruksi yang tipis serta ringan makin banyak dipakai. Pemakaiannya juga disebabkan karena dalam teknologi bangunan saat ini ada kecenderungan untuk menghilangkan semua bahan yang tidak dibutuhkan secara mutlak bagi stabilitas dan insulasi termal. Bahan-bahan siap pakai digunakan untuk tembok luar dan dalam, penyekat, lantai dan langit-langit gantung (suspended ceilings). Semua unsur konstruksi ini kehilangan ciri yang paling penting sebagai penyungkup insulasi bunyi yang efisien, yaitu beratnya. Selanjutnya, mereka memudahkan perambatan bising yang merusak lewat celah-celah dan sambungan terbuka antara elemen-elemen dan juga karena karakteristik panel-panel tipis serta ringan yang mudah merambatkan bising.

4. Bangunan-bangunan makin banyak dimekanisasi. Komponen-komponen sistem pemanas, ventilasi dan pengkondisi udara (kipas angin, kompresor dan menara pendingin), mesin-mesin kerja (mesin tik, mesin kantor dan komputer) dan alat-alat rumahtangga penghemat tenaga (pengkondisi udara, pembersih vakum, pencuci piring, penghancur sampah, televisi dan sistem stereo) — sayangnya, semua ikut berperan dalam pola bising suatu bangunan. Bangunan masa kini, sebenarnya, seluruhnya terjalin dalam jaringan pipa-pipa, saluran dan plenum yang luas yang merambatkan bising dan getaran.

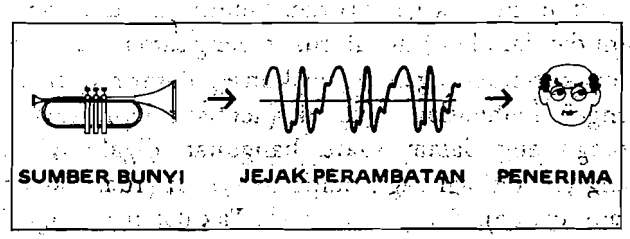
5. Karena pemborong menyadari bahwa pelataran parkir di bawah tanah pada bangunan bertingkat mampu menghasilkan banyak uang, maka ruang peralatan mekanis yang merupakan sumber bising yang hebat dalam bangunan, yang dulunya biasanya diletakkan di ruang bawah tanah, sekarang dibangun di atap. Padahal di bawahnya terdapat ruang tempat tinggal atau kantor-kantor pimpinan yang tinggi biaya sewanya. Ini akan menyebabkan masalah bising dan getaran yang besar.

6. Sebagai tambahan pada bising interior (mekanik), sumber-sumber bising dari luar yang baru maupun yang sudah ada memperparah lingkungan sampai keadaan yang dapat mendatangkan malapetaka, dan berperan dalam apa yang umumnya disebut sebagai *polusi bising* terhadap lingkungan. Sumber bising luar ini berasal dari kendaraan darat dan udara [turbojet, pesawat militer supersonik dan pesawat sipil, helikopter, VTOL (Vertical Take Off and Landing=

pesawat yang tinggal landas dan mendarat secara vertikal), hovercraft (kendaraan bermotor yang terbang rendah di atas bantalan udara), truk dan mesin-mesin disel], dan merupakan ancaman serius bagi penduduk kota maupun desa.

1.4 Sumber, Jejak, dan Penerima

Dalam setiap situasi akustik terdapat tiga elemen yang harus diperhatikan (Gambar 1.2): (1) *sumber bunyi*, yang diinginkan atau tak diinginkan, (2) *jejak*, untuk perambatan bunyi, dan (3) *penerima*, yang ingin atau tak ingin mendengar bunyi tersebut.



Gambar 1.2 Tiap situasi akustik mempunyai tiga elemen: sumber bunyi, jejak perambatan, dan penerima.

Jika bunyi tersebut diinginkan (pembicaraan atau musik), kondisi yang menguntungkan harus disediakan bagi produksi, perambatan dan penerimaannya. Sumber bunyi harus diperkuat dengan menaikkannya dalam jumlah cukup terhadap pendengar, dan jejak perambatan harus dibuat lebih efektif dengan menguatkan pemantulan bunyi dan dengan menempatkan pendengar sedekat mungkin ke sumber. Sebagai tambahan, pendengar harus dibebaskan dari semua pengalihan perhatian yang mengganggu, yaitu, bising dari dalam maupun dari luar. Langkah-langkah ini berlaku untuk akustik ruang maupun pengendalian bising.

Sebaliknya, bila bunyi tak diinginkan (bising dari televisi tetangga, atau bising lalu lintas), kondisi yang tidak menguntungkan harus disediakan untuk produksi, perambatan dan penerimaan gangguan tersebut. Langkah-langkah harus diambil untuk menekan intensitas bising pada sumbernya; usaha harus diadakan untuk memindahkan sumber bising sejauh mungkin dari penerima. Kedayagunaan jejak perambatan harus dikurangi sebanyak mungkin, dengan penggunaan penghalang yang tahan bunyi atau tahan getaran dan penerima harus dilindungi atau dibuat bertoleransi terhadap gangguan tersebut dengan menggunakan bising penyelubung (masking noise) atau musik latar-belakang (background music). Semua tindakan ini termasuk bidang pengendalian bising.

KEPUSTAKAAN[1]

Majalah

"Beautiful Buildings and Horrible Sounds", *Architectural Forum*, September 1956, halaman 152–157.
Allison, D.: "Acoustics for Modern Interiors", *Architectural Forum*, April 1959, halaman 145–149.
Langdon, F.J.: "The Social and Physical Environment", *J. RIBA*, Oktober 1966, halaman 460–464.
Creighton, H.: "Noise in the External Environment", *J. RIBA*, Oktober 1966, halaman 465–470.

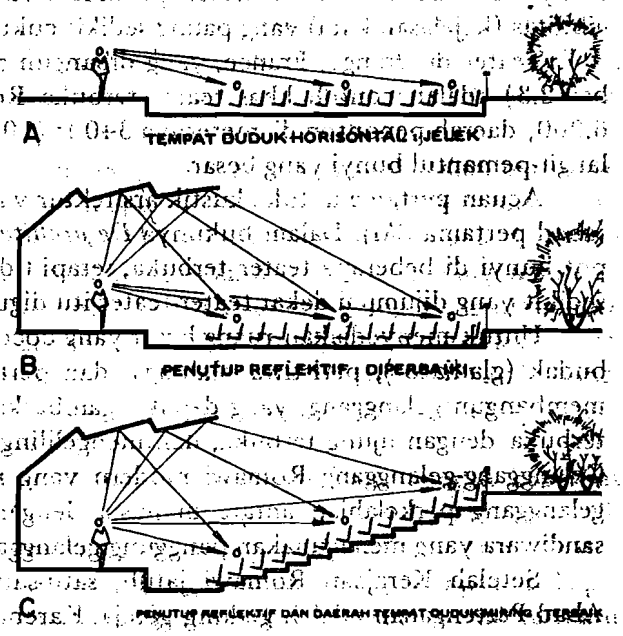
1 Di sini isian didaftar secara kronologis karena diyakini bahwa hal itu akan lebih berguna bagi pembaca daripada susunan secara abjad.

Sejarah Singkat tentang Gagasan Akustik

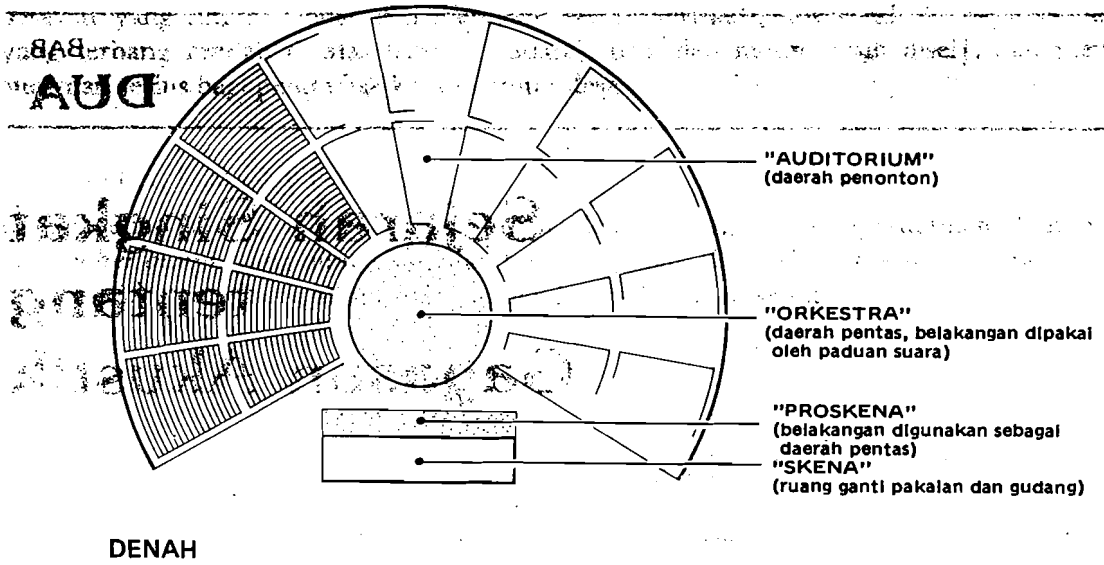
Auditorium, sebagai tempat untuk mendengar, berkembang sejak teater terbuka klasik. Walaupun demikian, sedikit sekali petunjuk bahwa orang-orang Yunani dan Romawi memberikan perhatian khusus pada prinsip-prinsip akustik ketika mereka memilih tempat alami dan membangun teater terbuka.

Telah diketahui bahwa kondisi mendengar di luar ruang biasanya jelek, terutama bila penonton duduk pada permukaan horisontal. Kesukaran mendengar di luar ruang disebabkan (1) berkurangnya energi bunyi bila gelombang bunyi merambat di udara bebas, (2) banyaknya penyerapan bunyi yang dilakukan penonton, dan (3) gangguan bising yang berasal dari bermacam-macam sumber lain. Kondisi mendengar di luar ruang dapat diperbaiki dengan menambahkan tembok pemantul bunyi sekeliling sumber dan dengan memiringkan daerah penonton (Gambar 2.1). Nenek moyang orang-orang Yunani dan Romawi mengamati dasar-dasar ini dan membangun tempat pertemuan terbuka mereka sesuai dengan dasar-dasar itu. Mereka mempunyai keuntungan lain, yaitu bising luar yang mengganggu pada zaman tersebut praktis tak ada.

Gambar denah sebuah teater terbuka Yunani (Gambar 2.2) menunjukkan daerah pentas di tengah, daerah penonton yang miring sekali mengelilingi daerah pentas, dan bangunan longitudinal yang digunakan untuk berganti pakaian, gudang, dan sebagai latar belakang. Belakang



Gambar 2.1 Kondisi mendengar di udara terbuka (A), tanpa bantuan sistem penguat bunyi elektronik dapat diperbaiki dengan menambahkan penyelubung pemantul bunyi sekeliling sumber (B), dan dengan memiringkan atau mencangkul (raking) daerah penonton (C).



Gambar 2.2 Gambar skema teater terbuka Yunani kuno.

an daerah pentas dipindahkan ke panggung bagian depan, mungkin untuk memanfaatkan pemantulan bunyi dari bagian belakang panggung ini dan dari pusat daerah penonton yang melingkar, yang selalu ditutup dengan marmer mengkilap yang sangat banyak memantulkan bunyi. Puing-puing teater terbuka orang Yunani masih dapat dilihat di Arena, Epidaurus, Priene dan Delos.

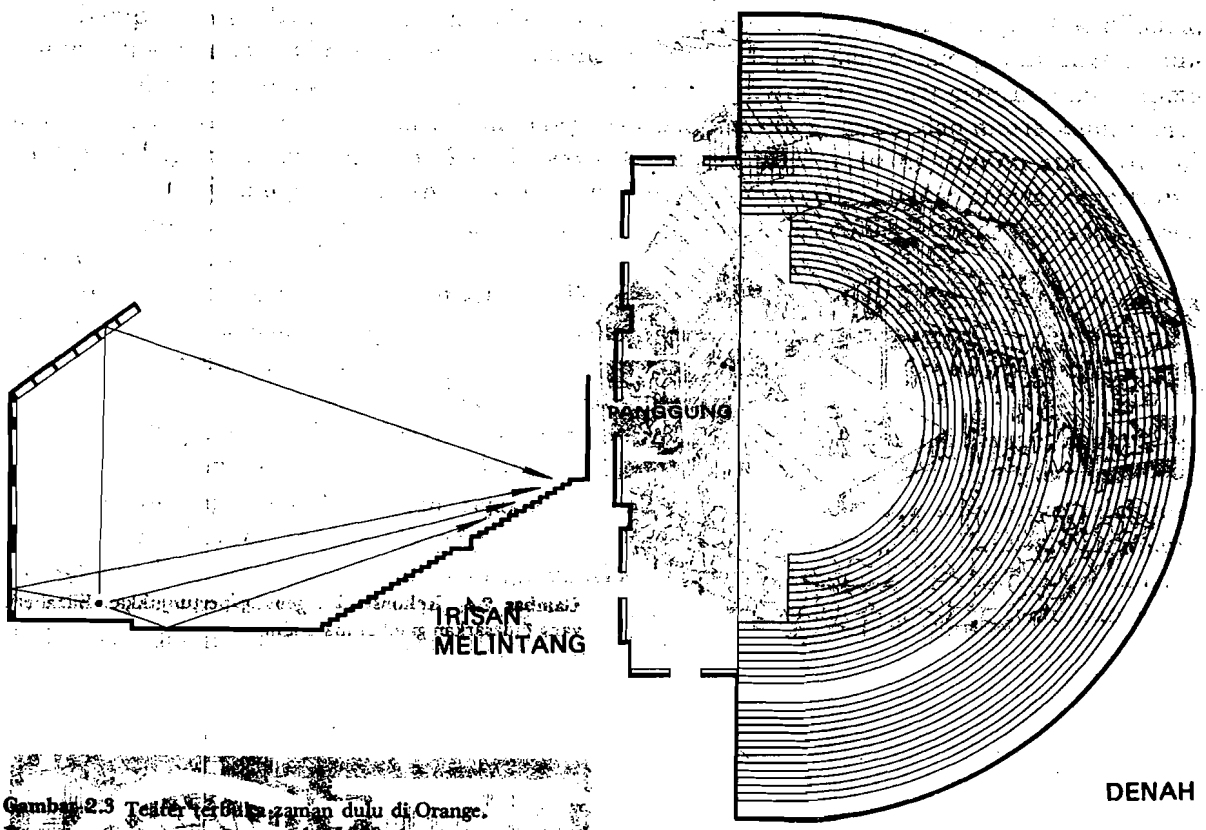
Ada banyak bacaan tentang akustik teater terbuka kuno, namun mungkin terlalu banyak pujian diberikan pada orang-orang Yunani dan Romawi untuk perencanaan akustik. Mereka mungkin hanya telah berusaha memecahkan masalah garis pandang dan pada saat yang sama mengatur untuk memperoleh kondisi mendengar yang cukup baik. Mereka berusaha membawa penonton sedekat mungkin ke daerah pentas dengan membentuk daerah tempat duduk semi lingkaran yang curam yang dengan sendirinya paling sedikit menghasilkan kondisi mendengar yang cukup baik. Di samping itu, pementas menggunakan banyak penutup muka, sebagian untuk menonjolkan ungkapan (ekspresi) lewat wajah mereka dan sebagian untuk menguatkan kemampuan vokal/suara mereka. Belakangan orang-orang Romawi memotong orkestra lingkaran menjadi semi lingkaran, sehingga penonton lebih dekat ke sumber bunyi, serta membangun atap miring yang besar di atas daerah pentas dan dinding-dinding pada kedua sisinya. Tindakan ini memberikan pemantul bunyi yang berdayaguna dan menghasilkan inteligibilitas (kejelasan kata) yang paling sedikit cukup memuaskan di tempat duduk yang jauh.

Teater di Orange, France, yang dibangun sekitar 50 SM oleh orang-orang Romawi (Gambar 2.8) adalah contoh khas teater terbuka Romawi kuno. Kapasitas tempat duduk sekitar 6.000, daerah penonton diameternya 340 ft (104 m), dan di atas daerah pentas terdapat langit-langit pemantul bunyi yang besar.

Acuan pertama untuk akustik arsitektur yang tercatat dalam sejarah dibuat oleh Vitruvius (abad pertama SM). Dalam bukunya *De architectura,* ia menjelaskan tentang penggunaan pot-pot bunyi di beberapa teater terbuka, tetapi tidak terdapat bukti bahwa pot-pot dalam jumlah sedikit yang dijumpai dekat teater-teater itu digunakan untuk tujuan akustik.

Untuk menyediakan ruang besar yang cocok untuk pertunjukkan seperti perkelahian para budak (gladiator), peristiwa olahraga, dan pertandingan kereta tempur, orang-orang Romawi membangun gelanggang, yang dapat digambarkan sebagai dua pasangan teater terbuka, ujung terbuka dengan ujung terbuka, dan mengelilingi daerah pentas elips atau lingkaran di tengah. Gelanggang-gelanggang Romawi modern yang muncul kemudian adalah gelanggang olahraga, gelanggang perkelahian antara manusia dengan sapi (bullfight), sirkus, dan jenis panggung sandiwara yang menggunakan panggung gelanggang (teater dalam bentuk lingkaran).

Setelah Kerajaan Romawi jatuh, satu-satunya jenis auditorium yang dibangun selama Abad Pertengahan adalah gedung gereja. Karena Abad Pertengahan hanya mewarisi pengetahu-



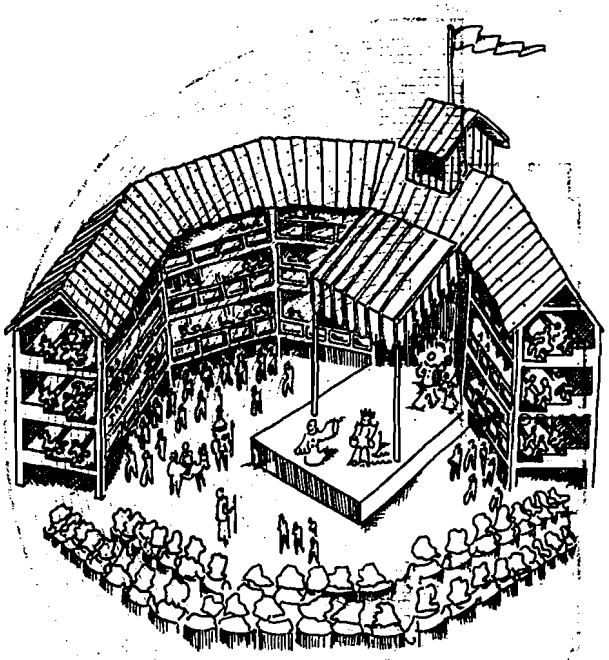
Gambar 2.3 Teater terbuka zaman dulu di Orange. Daerah penonton yang curam dan melingkar membantu terciptanya bunyi langsung yang istimewa. Permukaan pemantul bunyi di kedua sisi dan di atas panggung dapat membantu penguatan bunyi secara wajar.

an empiris tentang akustik ruang tertutup, lingkungan akustik gedung gereja abad pertengahan dapat dikenali dari mulatnya nada/mantapnya nada (fullness of tone) yang mencolok sekali, dengung yang berlebihan dan intelligibilitas yang jelek.

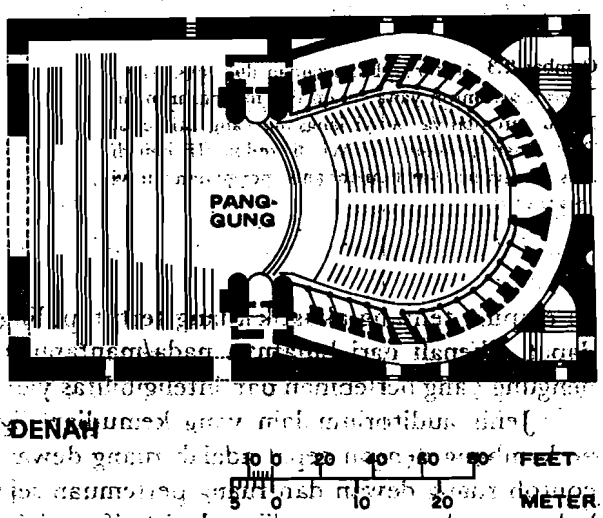
Jenis auditorium lain yang kemudian digunakan oleh kotapraja Abad Pertengahan yang berkembang dengan cepat adalah ruang dewan, yang biasanya terdapat di balai kota. Contoh-contoh ruang dewan dan ruang pertemuan sejenis yang juga digunakan untuk tujuan yang berhubungan dengan pengadilan, legislatif, sosial dan perdagangan muncul setelah abad ke sebelas terutama di Italia (Padua, Vicenza, Venice dan Florence) dan di Jerman (Goslar, Augsburg, Nuremberg, Ulm dan Munster).

Sekitar pertengahan abad ke enambelas, aktor-aktor di Inggris yang ahli dalam bermentas sambil berjalan menggunakan halaman rumah penginapan yang dikelilingi tembok melingkar, bujursangkar atau segiddelapan sebagai rumah pentas. Halaman itu sendiri terbuka di bagian atas dan digunakan oleh penonton yang berdiri. Sepanjang serambi yang mengelilingi halaman, penonton menduduki bangku-bangku. Daerah pentas merupakan panggung yang berbentuk bujursangkar yang diletakkan di halaman. Serambi di atas panggung digunakan untuk dekorasi yang dinaikkan (Gambar 2.4). Jenis rumah pentas ini, yang pertamakali menciptakan hubungan akrab antara pentonton dan pemain sejak teater terbuka Yunani, menghasilkan pola rancangan berbagai panggung terbuka (atau ternasang) saat ini.

Pada abad-abad selanjutnya, banyak teater dibangun kadang-kadang dengan kapasitas besar yang mengejutkan. Teatro Olimpico di Vicenza (Italia) dirancang oleh Palladio, dan dibangun dari tahun 1579 hingga tahun 1584, menampung sebanyak 3.000 penonton. Teatro Farnese di Parma (Italia) dirancang oleh Aleotti, dan dibangun tahun 1618, mempunyai kapasitas 2.500. Gambaran yang dapat diperoleh tidak menunjukkan kekurangan akustik tertentu



Gambar 2.4 Rekonstruksi gedung pertunjukkan Elizabeth yang didasarkan gambar masa kini.



Gambar 2.5 Denah Teatro San Carlo, Naples (1737), bentuk tapal kuda yang khas rumah opera Eropa.

dalam auditorium ini atau auditorium lainnya pada masa itu. Penyerapan bunyi yang disebabkan penonton dan dekorasi permukaan yang banyak, menghasilkan waktu dengung yang terkendali dengan baik dan distribusi energi bunyi yang merata dalam teater-teater ini.

Dari teater-teater yang dibangun setelah abad ke limabelas, pada abad ke tujuhbelas berkembang rumah opera berbentuk tapal kuda dengan daerah pentas dan rumah pentas yang luas, dan dengan deretan kotak-kotak, atau deretan tingkat-tingkat yang tersusun sampai ke langit-langit. Hal ini menyebabkan penyerapan bunyi yang sangat banyak di daerah penonton dan menciptakan waktu dengung yang pendek, suatu lingkungan akustik yang cocok untuk irama cepat opera Italia. (Gambar 2.5).

Karya "ilmiah" pertama dalam gejala akustik ruang, Athanasius Kircher's *Phonurgia*, muncul di abad ke tujuhbelas. Karya ini mengulang praktek akustik abad-abad sebelumnya yang mudah dan dapat dianggap sebagai sumbangan bagi sejarah perkembangan akustik arsitektur.

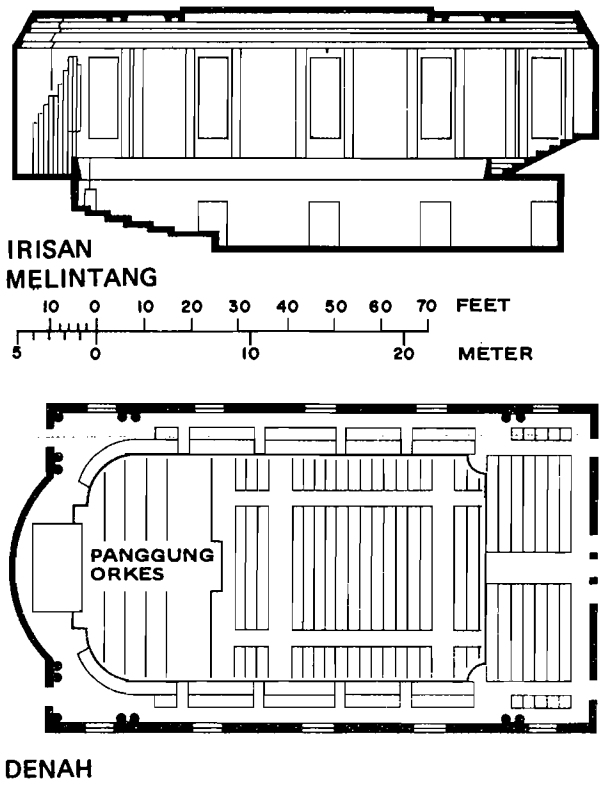
Sekitar awal abad ke sembilanbelas, orang Jerman Ernst F. Friedrich Chaladni, dalam bukunya *Die Akustik* (Acoustics), berusaha menerangkan gejala dengung.

Sampai awal abad ke sembilanbelas, akustik ruang tertutup, yang hampir tak dikenal, kurang diperhatikan dibandingkan pertimbangan-pertimbangan lain dalam perancangan auditorium untuk pertunjukan musik, yang pada zaman itu terutama berarti gereja, rumah opera dan ruang dansa. Perkembangan musik gereja dan paduan suara, opera dan musik kamar serta simfoni sebagian tergantung pada kondisi akustik yang ada dalam ruang (umum atau pribadi) di mana pertunjukan-pertunjukan itu diadakan. Setiap pemain organ sadar bahwa, seperti dua organ tak pernah sama dalam nada dan kualitas bunyi, akustik sendiri berbeda dari satu gereja dengan gereja lain.

Musik Baroque dan klasik yang tidak diciptakan untuk dimainkan dalam gereja, biasanya dipertunjukkan dalam ruang dansa bangsawan-bangsawan penggemar musik yang beberapa diantaranya mempunyai orkestra pribadi. Musik yang lebih akrab, yang semula ditulis untuk dimainkan dalam ruang yang lebih kecil, dikenal sebagai musik kamar.

Sebaliknya, opera Italia bersifat sebagai pertunjukan drama dan sesuai dengan lingkungan akustik rumah opera berbentuk tapal kuda di Milan, Munich, London, Paris dan Vienna.

Pencipta lagu yang kemudian, sejak awal abad ke sembilanbelas dan seterusnya, telah memakai ruang konser Vienna, Leipzig, Glasgow dan Basel (Gambar 2.6). Banyak dari ruang konser abad ke sembilanbelas ini menggambarkan — sampai sekarang — keberhasilan akustik empiris terbesar, sebelum kemajuan yang pesat dalam riset ilmiah di abad ke duapuluh mendefinisikan dan memecahkan permasalahan akustik ruang saat ini.



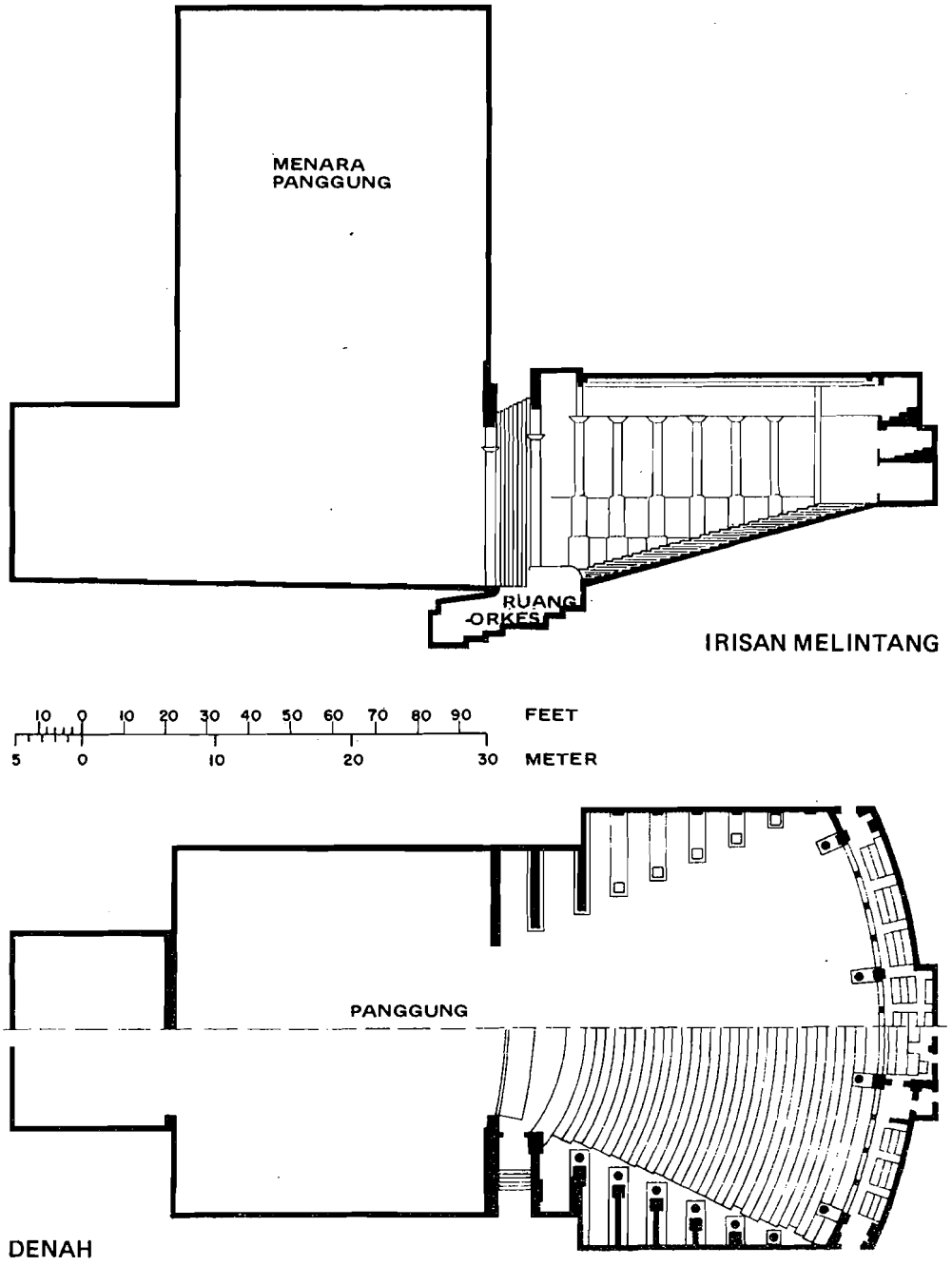
Gambar 2.6 · Ruang Konser Stadt-Casino, Basel, Swiss (1876, kapasitas tempat duduk 1.400), suatu contoh ruang musik empat persegi panjang yang bagus di abad kesembilanbelas, dengan kondisi akustik yang hebat untuk pertunjukan musik romantik.

Sikap perancang di abad ke sembilanbelas dengan baik digambarkan oleh kata-kata Charles Garnier, arsitek Paris Opera House: "Saya harus menjelaskan bahwa saya tidak memakai dasar, bahwa rancangan saya tidak didasarkan pada teori, dan bahwa saya menyerahkan keberhasilan atau kegagalan pada kemungkinan saja".[1]

1 C. Garnier, *Le nouveau Opera de Paris . . . ,* 2 vols., Ducher et Cie, Paris, 1876—1880.

Sebelum abad ke duapuluh, hanya satu auditorium dirancang secara akustik, dalam artian bahwa beberapa pertimbangan diberikan terhadap persyaratan akustik. Festspielhaus di Bayreuth, Jerman (Gambar 2.7) khusus dirancang dan dibangun untuk opera Wagner. Bangunan ini tidak mempunyai deretan kotak-kotak atau deretan tingkatan, sehingga jumlah permukaan penyerap bunyi berkurang dan waktu dengungnya jauh lebih panjang daripada waktu dengung rumah opera Eropa yang khas. Dalam banyak teater jenis proscenium standar (Bab 7), yang dibangun di seluruh dunia selama abad ke duapuluh, denah bentuk kipas dari Festspielhaus Bayreuth telah dipakai, dengan tambahan satu atau beberapa balkon.

Dalam paruhan kedua abad kesembilan belas, nama Helmholtz, Bell, Weber dan Fechner muncul sebagai pemeran penting dalam akustik. Lord Rayleigh menerbitkan karangannya yang klasik dengan judul *The Theory of Sound;* namun, sebelum abad ke duapuluh Profesor W.C.



Gambar 2.7 Festspielhaus, Bayreuth, Jerman (1876, kapasitas tempat duduk 1.800), dibangun untuk menyesuaikan dengan musik gaya Wagner.

Sabine dari Universitas Harvard, telah merintis perancangan akustik ruang. Ia mula-mula menemukan koefisien penyerapan bunyi dan tiba pada hubungan sederhana antara volume suatu ruang, jumlah bahan penyerap bunyi di dalamnya, dan waktu dengungnya (Bab 4). Jadi Sabin mengeluarkan akustik auditorium dari batas-batas pekerjaan menebak dan menyusunnya sebagai cabang sains teknologi yang sistematik.

Mulai saat itu, subyek baru akustik arsitektur maju dengan cepat. Instrumen-instrumen pengukur akustik dapat diperoleh, ilmuwan dan insinyur melakukan riset teoritik dan praktis dan dasar-dasar akustik ruang pun tersusun.

Pada 1930-an bioskop menggunakan suara. Mulai saat itu rekaman, penguatan dan reproduksi bunyi dengan kualitas tinggi mulai mengambil peran yang penting dalam beberapa bidang kehidupan – ilmiah, pendidikan, peradaban dan sosial. Perkembangan siaran radio dan televisi yang luar biasa telah menghasilkan masalah-masalah akustik baru dan merangsang minat umum dalam mendengarkan musik.

Produksi besar-besaran dan pemeriksaan laboratorium bahan-bahan akustik telah memberikan sarana yang diperlukan oleh perancang bangunan untuk mengendalikan bunyi dalam ruang arsitektur. Jumlah auditorium yang dibangun di seluruh dunia sangat banyak.

Dengan memperhatikan perkembangan akustik arsitektur yang hebat, jelas bahwa pada paruhan pertama abad ke duapuluh, kemajuan telah lebih diutamakan di bidang akustik ruang. Namun, ditinjau dari segi kondisi bising yang makin memburuk dewasa ini, dan juga karena pengenalan secara bertahap terhadap konstruksi tipis, ringan dan siap pakai, diramalkan bahwa dalam tahun-tahun yang akan datang kemajuan yang berarti akan terjadi di cabang akustik lingkungan lain, yang selama ini diabaikan, yaitu pengendalian bising.

Kekerasan (loudness) bising lingkungan yang menyeluruh, yang satu dasawarsa yang lalu dikatakan sebagai hasil kemajuan, secara bertentangan, sekarang bertambah dengan kelajuan yang sama dengan jumlah pertambahan pengetahuan manusia. Kondisi ini tentunya akan makin sangat buruk di masa yang akan datang dengan pemakaian helikopter dan jumbo jet yang amat banyak dalam waktu dekat dan pengenalan pesawat udara supersonik. Saat ini, dan dalam tahun-tahun yang akan datang, pertarungan melawan polusi bising dalam lingkungan kita (dibahas secara terperinci dalam bab 13) rupa-rupanya menjadi tugas yang paling penting. Sasaran ini jelas membuka kesempatan baru dalam sejarah akustik lingkungan.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

Buku

Beranek, L. L.: *Music Acoustics and Architecture*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962, 586 halaman.
Sabine, W. C.: *Collected Papers on Acoustics*, Dover Publications, Inc., New York, 1964, 279 halaman.

Majalah

Canac, F.: "On the Acoustics of Grecian and Roman Theaters", *J. RIBA*, Juli 1949, halaman 412–414.
DeGaetani, T.: "Theater Architecture", *J. AIA*, Agustus 1961, halaman 71–76.

BAB
TIGA

Sifat-sifat Bunyi

Walaupun buku ini bertujuan menyediakan petunjuk akustik yang praktis bagi arsitek dalam merancang pekerjaannya, pembahasan singkat tentang hukum teoritik akustik lingkungan yang sederhana dan sifat-sifat dasar bunyi akan membantu dalam memecahkan kasus-kasus yang penting.

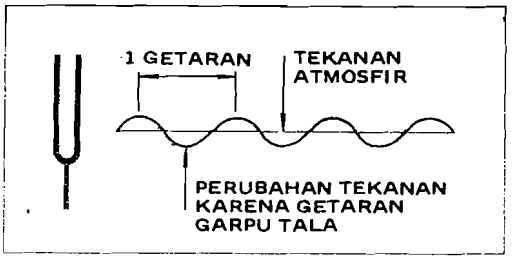
3.1 Asal, Perambatan, dan Kecepatan Bunyi

Kata *bunyi* mempunyai dua definisi: (1) Secara fisis, bunyi adalah penyimpangan tekanan, pergeseran partikel dalam medium elastik seperti udara. Ini adalah bunyi *obyektif.* (2) Secara fisiologis, bunyi adalah sensasi pendengaran yang disebabkan penyimpangan fisis yang digambarkan di atas. Ini adalah bunyi *subyektif.*

Dalam buku ini *bunyi* menyatakan sensasi pendengaran yang lewat telinga dan timbul karena penyimpangan tekanan udara. Penyimpangan ini biasanya disebabkan oleh beberapa benda yang bergetar, misalnya dawai gitar yang dipetik, atau garpu tala yang dipukul (Gambar 3.1).

Rambatan gelombang bunyi disebabkan oleh lapisan perapatan dan peregangan partikel-partikel udara yang bergerak ke arah luar, yaitu karena penyimpangan tekanan. Ini sama dengan penyebaran gelombang air pada permukaan suatu kolam dari titik di mana batu dijatuhkan. Partikel-partikel udara yang meneruskan gelombang bunyi tidak berubah posisi normalnya; mereka hanya bergetar sekitar posisi kesetimbangannya, yaitu posisi partikel bila tak ada gelombang bunyi yang diteruskan. Penyimpangan tekanan ditambahkan pada tekanan atmosfir yang kira-kira tunak (steady) dan ditangkap oleh telinga.

Kecepatan rambat gelombang bunyi pada temperatur ruang 68°F (20°C) adalah sekitar 1.130 ft per sekon (344 m per sekon). Dalam pembahasan selanjutnya akan ditunjukkan bahwa kecepatan bunyi yang relatif rendah inilah yang menyebabkan cacat akustik seperti gaung (pemantulan yang berkepanjangan), gema dan dengung yang berlebihan.



Gambar 3.1 Garpu tala yang dipukul menghasilkan perubahan tekanan di udara karena getarannya dan menghasilkan bunyi.

3.2 Frekuensi, Titinada (pitch), Warna Nada, dan Panjang Gelombang

Jumlah pergeseran atau osilasi yang dilakukan sebuah partikel dalam 1 sekon disebut *frekuensi.* Tiap osilasi yang lengkap disebut satu *saikel* (cycle). Satuan frekuensi adalah hertz (Hz), yang secara numerik sama dengan saikel per sekon (cps). Bila dawai mengalami 261 osilasi dalam 1 sekon (261 Hz), maka dalam gendang telinga seorang pendengar akan diperoleh nada subyektif C tengah. Frekuensi adalah gejala fisis obyektif yang dapat diukur oleh instrumen-instrumen akustik.

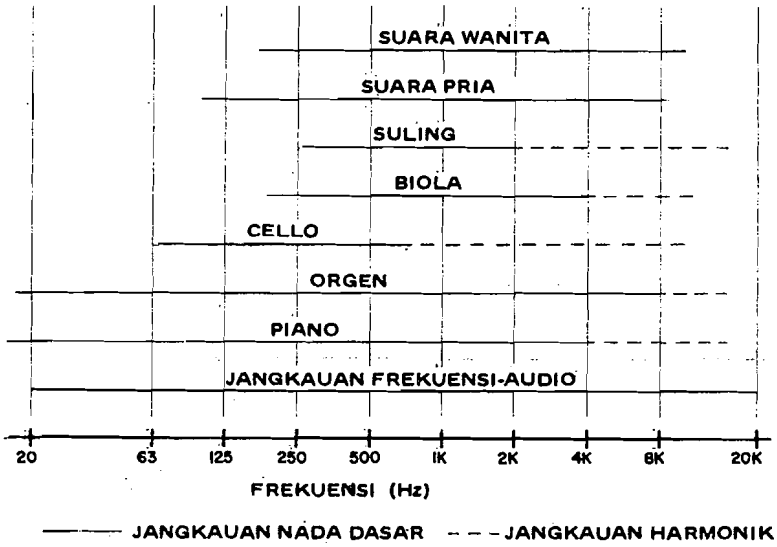
Telinga normal tanggap terhadap bunyi di antara jangkauan (range) frekuensi audio sekitar 20 sampai 20.000 Hz. Jangkauan ini dan jangkauan frekuensi lain dari bermacam-macam sumber bunyi ditunjukkan dalam Gambar 3.2. Jangkauan frekuensi audio orang yang berbeda umurnya juga berbeda, dan dengan bertambahnya umur batas atas turun dengan banyak. Peranan frekuensi yang lebih tinggi dari 10.000 Hz dapat diabaikan dalam inteligibilitas pembicaraan atau kenikmatan musik.

Kebanyakan bunyi (pembicaraan, musik, bising) terdiri dari banyak frekuensi, yaitu komponen-komponen frekuensi rendah, tengah dan medium. Karena itu amatlah penting untuk memeriksa masalah-masalah akustik meliputi spektrum frekuensi yang dapat didengar. Frekuensi standar yang dipilih secara bebas sebagai wakil yang penting dalam akustik lingkungan adalah

125, 250, 500, 1000, 2000 dan 4000 Hz

atau

128, 256, 512, 1024, 2048, dan 4096 Hz



Gambar 3.2 Jangkauan frekuensi sumber-sumber bunyi.

Untuk semua tujuan praktis kedua deret itu dapat dianggap sama. Dalam merancang ruang yang sangat peka secara akustik, seperti ruang konser atau studio radio atau rekaman, perhatian juga diberikan pada frekuensi yang satu oktaf di bawah (63 atau 64 Hz) dan satu oktaf di atas (8000 atau 8192 Hz) jangkauan frekuensi standar.

Sifat sensasi pendengaran yang memungkinkan kita menyusun bunyi dalam suatu skala yang berkisar dari frekuensi rendah ke tinggi disebut *titinada.* Secara subyektif fisiologis titinada sama dengan frekuensi. Titinada terutama tergantung pada frekuensi bunyi perangsang; makin tinggi frekuensinya, makin tinggi pula titinadanya.

Sensasi bunyi yang mempunyai titinada disebut *nada. Nada murni* (atau nada sederhana) adalah sensasi bunyi frekuensi tunggal, dan ditandai oleh ketunggalan titinadanya. Ini dapat dihasilkan dengan memukul garpu tala, dengan memainkan nada rendah secara lembut pada suling. Kebanyakan bunyi musik tidak menghasilkan nada murni saja, tetapi menghasilkan bunyi yang terdiri dari beberapa frekuensi tambahan, yang disebut *nada kompleks.* Nada kompleks adalah sensasi bunyi yang ditandai oleh lebih dari satu frekuensi. Apakah seseorang

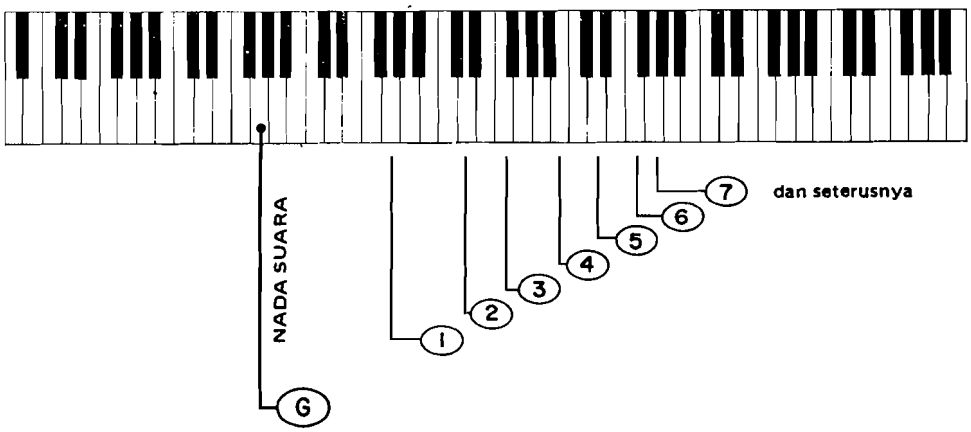
mendengarkan suatu nada sebagai nada murni atau kompleks tergantung pada pengalaman dan sikapnya dalam mendengarkan musik.

Frekuensi terendah yang ada dalam suatu nada kompleks disebut *nada dasar;* komponen-komponen dengan frekuensi lebih tinggi disebut *nada atas* atau *parsial.* Jika frekuensi parsial adalah bilangan bulat kali frekuensi nada dasar, maka mereka disebut *harmonik.* Beberapa instrumen musik menghasilkan lebih banyak nada-nada atas dibandingkan instrumen lain. Instrumen yang berbeda mementingkan nada-nada atas yang berbeda pula. Pada kebanyakan bunyi musik titinada seluruh nada kompleks nampaknya sama dengan titinada nada dasar; walaupun demikian, nada-nada atas menambahkan sifat yang khas pada nada itu.

Bila nada G dimainkan di piano, maka di samping nada dasar, nada atas beberapa mata piano (tuts) lain akan terdengar, tanpa memainkan mata piano itu (Gambar 3.3). Jumlah relatif, titinada dan intensitas nada-nada ataslah yang berperan dalam warna nada atau *timbre* bunyi musik. Nada murni tanpa nada atas terdengar hampa dan tidak menarik. Instrumen yang menghasilkan bunyi dengan banyak nada atas terdengar penuh dan kaya. Timbre adalah sifat sensasi pendengaran yang olehnya seseorang dapat membedakan bunyi yang mempunyai titinada dan kekerasan sama tetapi dimainkan pada instrumen musik yang berbeda.

Jarak yang ditempuh gelombang bunyi selama tiap saikel yang lengkap, yaitu jarak antara lapisan pemampatan, disebut *panjang gelombang.* Ada hubungan tetap antara panjang gelombang, frekuensi, dan kecepatan bunyi yaitu:

$$\text{panjang gelombang} = \frac{\text{kecepatan bunyi}}{\text{frekuensi}}$$



Gambar 3.3 Dengan membunyikan suatu nada dasar, misalnya G, pada piano, nada atas beberapa mata piano lain (ditandai 1 sampai 7, dan seterusnya) akan terdengar oleh telinga kita walaupun mata piano tersebut sebenarnya tidak dimainkan. Ini menghasilkan nada kompleks.

di mana panjang gelombang dinyatakan dalam feet (atau meter), kecepatan bunyi dalam feet per sekon (meter per sekon) dan frekuensi dalam hertz.

Panjang gelombang dengan jangkauan frekuensi antara 20 sampai 10.000 Hz adalah 56 ft (17 m) sampai sekitar 1 in (25 mm). Perhatian yang diberikan pada hubungan antara frekuensi dan panjang gelombang adalah penting dalam perancangan akustik suatu auditorium. Seperti akan terlihat kemudian, ruang yang menyerap bunyi, atau memantul bunyi dengan efektif atau ruang yang menyebarkan bunyi atau membaurkan (diffusive) harus dirancang sedemikian rupa sehingga ukuran-ukuran cukup besar dibanding masing-masing panjang gelombang bunyi yang harus diserap, dipantul, atau didifusikan.

3.3 Tekanan Bunyi, Intensitas Bunyi, dan Kekerasan

Pemberian harga numerik pada besaran bunyi (dalam pengertian fisis maupun fisiologis) sangat rumit, namun karena pemakaiannya terbatas dalam langkah-langkah perancangan arsitektur praktis, maka hal ini dapat dibahas dengan penyederhanaan yang maksimum.

Penyimpangan dalam tekanan atmosfir yang disebabkan getaran partikel udara karena adanya gelombang bunyi disebut *tekanan bunyi.* Telinga tanggap terhadap jangkauan tekanan bunyi yang sangat lebar, walaupun tekanannya sendiri kecil.

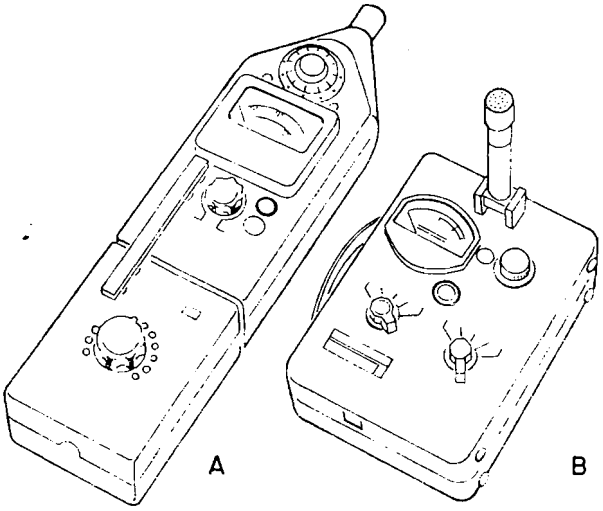
Skala standar yang digunakan untuk mengukur tekanan bunyi dalam akustik fisis mempunyai jangkauan yang lebar, yang menyebabkannya susah digunakan. Selanjutnya, skala ini tidak memperhitungkan kenyataan bahwa telinga tidak tanggap dengan cara sama terhadap perubahan tekanan bunyi pada semua tingkat intensitas. Karena alasan ini tekanan bunyi diukur dalam skala logaritmik, yang disebut *skala decibel* (dB), dinamakan untuk menghormati Alexander Graham Bell. Skala decibel hampir sesuai dengan tanggapan/kesan manusia terhadap perubahan kekerasan bunyi, yang secara kasar sebanding dengan logaritma energi bunyi. Ini berarti bahwa energi bunyi yang sebanding dengan 10, 100 dan 1000 akan menghasilkan di telinga pengaruh yang secara subyektif sebanding dengan logaritmanya, yaitu masing-masing 1, 2, dan 3. Bila bilangan skala logaritma ini dikalikan dengan 10, maka diperoleh skala decibel. Satuan skala ini, decibel, adalah perubahan terkecil dalam tekanan bunyi yang dapat dideteksi telinga pada umumnya.

Tingkat tekanan bunyi diukur oleh meter tingkat bunyi (sound level meter) (Gambar 3.4) yang terdiri dari mikrofon, penguat, dan instrumen keluaran (output) yang mengukur tingkat tekanan bunyi efektif dalam decibel. Bermacam-macam alat tambahan dapat disambungkan atau digabungkan pada instrumen dasar ini, sesuai dengan kebutuhan, seperti penganalisis frekuensi atau perekam grafis. Meter tingkat bunyi yang dibuat dalam berbagai ukuran oleh beberapa perusahaan, dapat digunakan untuk sejumlah tujuan dalam akustik arsitektur. Mereka merupakan instrumen yang penting dalam menilai dan mengendalikan bising dan getaran.

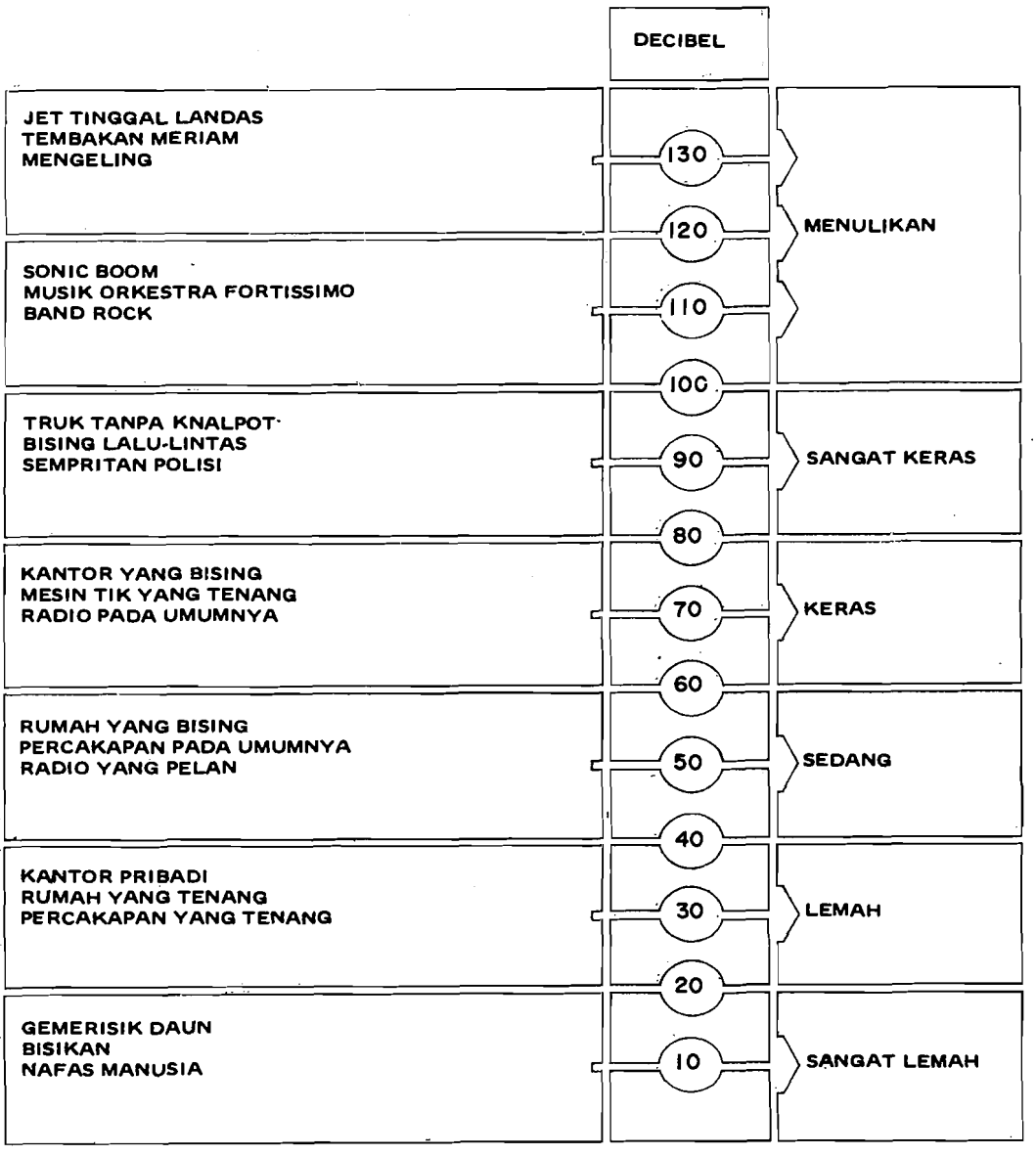
Tingkat tekanan bunyi beberapa macam bising dan bunyi tertentu ditunjukkan dalam Gambar 3.5.

Intensitas bunyi dalam arah tertentu di suatu titik adalah laju energi bunyi rata-rata yang ditransmisikan dalam arah tadi lewat satu satuan luasan yang tegaklurus arah tersebut di titik tadi. Tingkat intensitas bunyi dinyatakan dalam decibel di atas suatu tingkat acuan. Dengan mengalikan intensitas dengan 10 di setiap titik pada skala, tingkat intensitas naik dengan 10 dB. Perubahan 3 dB dalam tingkat intensitas cukup dapat dirasakan, dan perubahan 5 dB jelas tercatat. Pertambahan 10 dB terdengar dua kali lebih keras, 15 dB menyatakan perubahan yang sangat besar, dan pertambahan sebesar 20 dB menghasilkan bunyi yang amat sangat lebih keras dari bunyi semula. Untuk tujuan praktis dalam pengendalian bising lingkungan, tingkat tekanan bunyi sama dengan tingkat intensitas bunyi.

Kekerasan adalah sifat sensasi pendengaran yang subjektif, dan dalam besaran kekerasan ini bunyi dapat disusun pada skala yang berkisar dari lemah sampai keras. Kekerasan adalah tanggapan subyektif terhadap tekanan bunyi dan intensitas bunyi. *Phon* adalah satuan tingkat kekerasan, yang dibentuk lewat percobaan psikologis yang sangat luas. Skala phon ikut mem-



Gambar 3.4 Instrumen-instrumen untuk mengukur tingkat tekanan bunyi: (A) meter tingkat bunyi model 2203/1613 dan filter satu oktaf dari Bruel and Kjaer, Copenhagen, Denmark; (B) meter tingkat bunyi General Radio Company, West Concord, Mass, tipe 155-C.



Gambar 3.5 Tingkat tekanan bunyi beberapa bunyi penting dan bising.

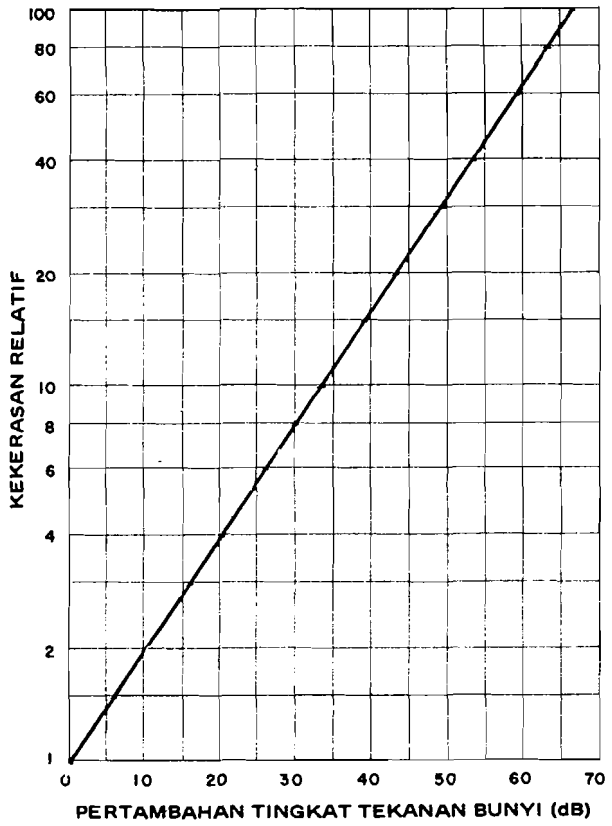
perhatikan kepekaan telinga yang berbeda terhadap bunyi dengan frekuensi yang berbeda; karena itu skala ini adalah ukuran obyektif.

Gambar 3.6 menunjukkan hubungan antara tingkat tekanan bunyi dan kekerasan relatif. Bila terjadi pertambahan tingkat tekanan bunyi sebesar 10 dB, maka akan terdengar penggandaan kekerasan. Pertambahan 20 dB pada tingkat tekanan bunyi sama dengan mengalikan kekerasan sebanyak empat kali.

3.4 Daya Akustik dan Sumber-sumber Bunyi

Daya akustik rata-rata yang dihasilkan semua sumber bunyi sangat kecil. Daya akustik yang harus dihasilkan pengeras suara dalam ruang agar dapat didengar dengan baik bervariasi antara 10 dan 50 mikrowatt (μW), tergantung pada ukuran ruang; karena itu tekanan bunyi yang dihasilkan sangat kecil.

Jumlah daya akustik kecil yang dihasilkan oleh pengeras suara dapat digambarkan sebagai berikut. Pembicaraan keras yang dilakukan secara serentak oleh 4 juta orang akan menghasilkan daya yang diperlukan untuk menyalakan satu bola lampu 40 W. Diperlukan tidak kurang dari 15 juta pembicara untuk menghasilkan energi akustik satu tenaga kuda.



Gambar 3.6 Pengaruh perubahan tingkat tekanan bunyi terhadap kekerasan. Pertambahan tingkat tekanan bunyi sebanyak 10 dB akan menggandakan kekerasan.

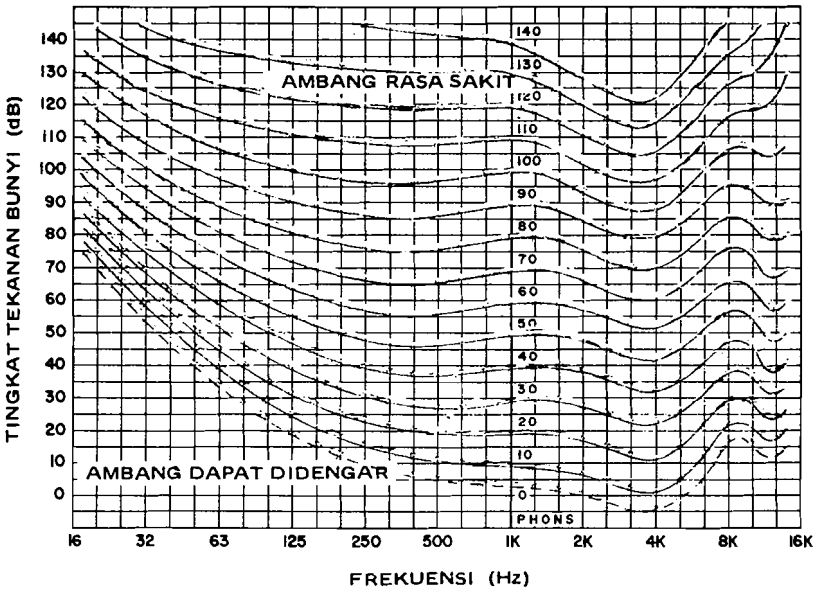
Suara nyanyian atau instrumen musik memancarkan beberapa ratus atau bahkan ribu mikrowatt daya akustik. Hal ini menjelaskan bagaimana mudahnya seorang penyanyi atau pemusik mengisi volume suatu auditorium yang terlampau besar untuk pembicaraan yang tidak diperkuat.

3.5 Telinga Manusia dan Pendengaran

Jika tekanan gelombang bunyi yang berubah mencapai telinga luar, getaran yang diterima gendang telinga diperbesar oleh tulang-tulang kecil di telinga tengah dan diteruskan lewat cairan ke ujung-ujung saraf yang berada di telinga dalam. Saraf akhirnya meneruskan impuls ini ke otak, di mana proses mendengar tahap terakhir terjadi; jadi sensasi bunyi tercipta.

Tingkat tekanan bunyi minimum yang mampu membangkitkan sensasi pendengaran di telinga pengamat disebut *ambang kemampuan didengar.* Bila tekanan bunyi ditambah dan bunyi menjadi lebih keras, akhirnya ia mencapai suatu tingkat di mana sensasi pendengaran menjadi tidak nyaman. Tingkat tekanan bunyi minimum yang merangsang telinga sampai suatu keadaan di mana rasa tidak nyaman menyebabkan rasa sakit tertentu disebut *ambang rasa sakit.* Antara kemampuan didengar dan rasa sakit tekanan bertambah sejuta kali. Ini menunjukkan jangkauan tekanan bunyi yang ditanggapi telinga sangat lebar. Kurva-kurva ambang kemampuan didengar dan ambang rasa sakit membatasi daerah sensasi pendengaran, seperti terlihat dalam Gambar 3.7.

Jelas bahwa kepekaan telinga berubah dengan nyata bila bunyi berbeda frekuensinya. Dari kurva ambang kemampuan di dengar dapat dilihat bahwa pada 1000 Hz tingkat tekanan bunyi minimum sekitar 4 dB diperlukan untuk hampir tidak didengar telinga sedangkan pada 63 Hz telinga tidak akan bereaksi terhadap bunyi apapun kecuali bila tekanannya mencapai tingkat minimum kira-kira 35 dB. Sampai tingkat tertentu kita tuli terhadap bunyi frekuensi rendah. Kepekaan telinga kita yang berkurang dalam jangkauan frekuensi rendah menguntungkan, karena hal ini menghindarkan kita dari gangguan yang disebabkan bunyi frekuensi rendah di dalam dan sekitar kita. Sebaliknya, adalah menguntungkan bahwa telinga lebih peka terhadap bunyi dalam jangkauan sekitar 400 sampai 5000 Hz, yaitu frekuensi yang penting untuk inteligibilitas pembicaraan dan kenikmatan musik yang sempurna.



Gambar 3.7 Kontur kekerasan sama. Nada 63 Hz dengan tingkat tekanan bunyi 53 dB, nada 125 Hz dengan 40 dB, nada 500 Hz dengan 28 dB, nada 1000 Hz dengan 30 dB, dan nada 8000 Hz dengan 38 dB terdengar sama keras karena mereka semua terletak pada kontur kekerasan sama 30 phon.

Gambar 3.7 juga menunjukkan kumpulan kurva, yang dikenal sebagai *kontur kekerasan sama* (equal-laoudness contours), yang menggambarkan reaksi subyektif terhadap bermacam-macam tingkat tekanan bunyi. Kurva-kurva ini misalnya menyatakan bahwa nada 32 Hz dengan TTB (Tingkat Tahanan Bunyi) 70 dB, nada 125 Hz dengan TTB 40 dB, nada 1000 Hz dengan TTB 30 dB, dan nada 8000 Hz dengan TTB 30 dB berbunyi sama keras, yaitu 30 phon, karena nilai-nilai ini terletak pada kontur kekerasan sama 30-phon.

Sebaliknya, nada 4000 Hz yang hanya mempunyai TTB 20 dB berbunyi sama keras dengan nada 63 Hz yang mempunyai TTB 50 dB. Keduanya mempunyai tingkat kekerasan 27 phon. Dengan perkataan lain, telinga kurang peka terhadap bunyi frekuensi rendah dibanding frekuensi tinggi.

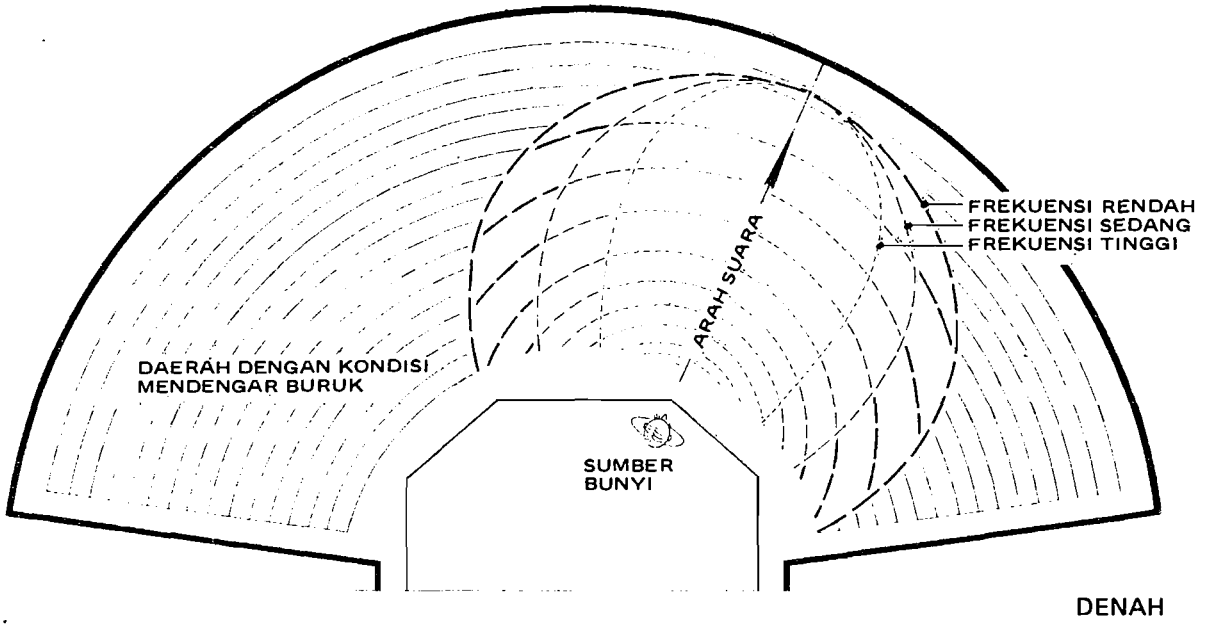
Pada frekuensi rendah, suatu perubahan dalam TTB menghasilkan perubahan tingkat kekerasan yang jauh lebih besar daripada perubahan yang sama yang terjadi pada frekuensi yang lebih tinggi. Kepekaan telinga manusia yang kurang dijangkauan frekuensi yang rendah hanya berlaku untuk bunyi yang tidak terlampau keras karena terhadap tekanan bunyi dengan tingkat lebih tinggi, telinga hampir sama peka pada semua frekuensi.

Harus dicatat bahwa pada 1000 Hz tingkat tekanan bunyi dalam decibel adalah sama dengan tingkat kekerasan dalam phon. Gambar 3.7 memungkinkan kita untuk mengubah tiap nada tunggal dari decibel menjadi phon atau sebaliknya; sebagai contoh, nada 4000 Hz pada TTB 70 dB mempunyai tingkat kekerasan sekitar 80 phon.

3.6 Keterarahan (directionality) Sumber-sumber Bunyi

Walaupun sumber-sumber bunyi memancarkan gelombang bunyi ke semua arah, dalam daerah yang tak ada permukaan pemantulnya, intensitas bunyi yang dipancarkan pada salah satu arah dapat menjadi sangat nyata. Tepatnya, pola pemancaran akan berubah dengan frekuensi gelombang bunyi yang dipancarkan. Gejala ini jelas pada suara manusia, pada instrumen musik, pada pengeras suara, dan juga pada banyak sumber-sumber bising lain.

Keterarahan suara manusia dalam bidang horisontal ditunjukkan dalam Gambar 3.8. Gambar itu menunjukkan bahwa pemancaran bunyi pembicaraan frekuensi tinggi lebih nyata sepanjang sumbu longitudinal sumber bunyi tersebut, sedang distribusi frekuensi tengah dan rendah lebih merata dalam semua arah. Ini dapat diamati terutama di auditorium yang sangat lebar di mana komponen-komponen pembicaraan frekuensi tinggi tidak dipancarkan dengan baik ke tempat-tempat duduk samping di barisan depan sebaik ke tempat-tempat duduk di tengah. Ini menyebabkan hilangnya inteligibilitas yang nyata pada tempat duduk samping.



Gambar 3.8 Gambar diagram keterarahan suara manusia dalam bidang horisontal.

Gejala ini menciptakan masalah yang serius dalam perancangan panggung terbuka atau teater jenis gelanggang (teater melingkar), di mana pementas pada satu saat hanya dapat menghadap ke satu daerah penonton saja. Di sini pemakaian tembok pemantul dan langit-langit pemantul sangat penting untuk mengimbangi hilangnya komponen-komponen frekuensi tinggi. Namun, pengalaman menunjukkan, bahwa dalam pola pemancaran suara manusia perbedaan frekuensi sepanjang sudut total 90° dalam arah ke depan, dapat diabaikan.

3.7 Selubung (masking)

Walaupun suara yang lemah dapat dimengerti dalam ruang yang sunyi, namun untuk mengerti suara yang diperkeras sekali pun di sekitar deru mesin pesawat terbang tentunya sulit. Hilangnya atau *penyelubungan* terjadi karena saraf pendengaran tidak dapat membawa semua impuls ke otak pada saat itu.

Penyelubungan biasanya terjadi dalam auditorium dengan rancangan akustik yang tidak memadai, yaitu ketika bising yang tak diinginkan menyebabkan sulitnya mendengar dan mengerti atau menghargai bunyi yang diinginkan. Dalam proses ini ambang kemampuan didengarnya suatu bunyi, misalnya pidato dalam auditorium, naik dengan hadirnya suatu bunyi selubung, misalnya bunyi lalu-lintas atau bunyi alat-alat ventilasi.

Bunyi frekuensi rendah menyebabkan penyelubungan yang cukup besar pada bunyi frekuensi tinggi, terutama bila bunyi frekuensi rendah sangat keras. Karena itu bising frekuensi rendah yang berlebihan merupakan sumber gangguan yang hebat terhadap pembicaraan atau musik, karena mereka menyelubungi bunyi yang diinginkan di seluruh jangkauan frekuensi audio. Eliminasi bising berfrekuensi rendah adalah sasaran yang penting dalam perancangan akustik auditorium.

Bunyi frekuensi-tinggi menyelubungi bunyi frekuensi-rendah dalam jumlah terbatas karena penyelubungan paling nyata bila bunyi selubung mempunyai frekuensi yang hampir sama dengan bunyi yang diselubungi.

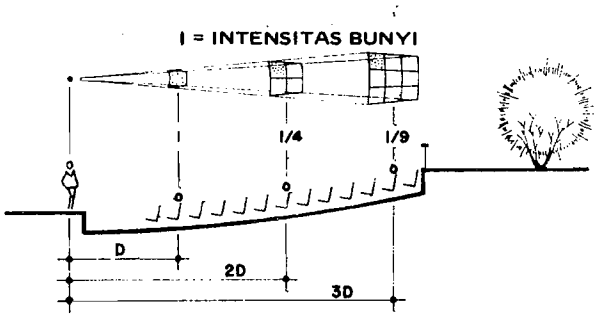
Gejala penyelubungan dimanfaatkan dengan baik dalam pengendalian bising lingkungan. Bila bising selubung tidak terputus dan tidak terlampau keras, serta tidak mengandung suatu informasi, maka ia menjadi *bising latar belakang* yang dapat diterima dan akan menekan bising pengganggu lainnya yang tak disukai, sehingga secara psikologis menjadi bunyi yang lebih

tenang (Bab 13). Bising ventilasi dan pendingin ruangan, bising yang dihasilkan oleh arus lalulintas jalan raya yang tak terputus, atau bunyi pancuran air adalah sumber bunyi selubung yang bagus. Tingkat bising latar belakang yang dapat diterima untuk macam-macam keperluan akan dibahas dalam Bab 15.

3.8 Bunyi dan Jarak

Dalam medan yang bebas dari permukaan pemantul, gelombang bunyi merambat ke luar dari sumber dengan suatu muka gelombang berbentuk bola; karena itu energinya dipancarkan pada permukaan yang terus-menerus membesar. Karena luas suatu bola sebanding dengan kuadrat jari-jarinya, intensitas bunyi di setiap titik berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber ke titik tersebut. Ini dikenal sebagai *hukum invers kuadrat* dalam akustik arsitektur (Gambar 3.9), dan ia menjelaskan kekerasan yang tidak cukup di tempat duduk yang jauh dalam auditorium yang sangat besar. Ini harus diimbangi dengan menempatkan penonton sedekat mungkin dengan sumber bunyi.

Bila tidak terdapat permukaan-permukaan pemantul, reduksi intensitas bunyi dapat dianggap 6 dB tiap kali jarak dari sumber digandakan.



Gambar 3.9 Hukum invers kuadrat. Dalam medan bebas intensitas bunyi di tiap titik berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber ke titik tersebut. Misalnya, jika jarak D dikalikan tiga, maka intensitas bunyi akan berkurang dengan faktor 9; yaitu menjadi 1/9.

KEPUSTAKAAN

Buku

Knudsen, V.O., dan C.M. Harris: *Acoustical Designing in Architecture*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950, bab 1 dan 2.

Parkin, P.H., dan H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958 bab 1.

Rettinger, M.: *Acoustics*, Chemical Publishing Company, Inc., New York, 1968, bab 1.

BAGIAN DUA

Akustik Ruang

[illegible] dengan muka gelombang [illegible] bila jauh dari sumbernya [illegible]

[illegible] akan paling sering [illegible] perambatan dan [illegible] terbuka. Untuk [illegible] di dalam suatu ruang, [illegible] dan dapat untuk membuat [illegible]

[illegible] dapat dipandangkan bila [illegible] digantikan oleh sinar bunyi [illegible] dalam [illegible] berkas cahaya dalam [illegible] kelakuan gelom- [illegible] dengan [illegible] dua cahaya [illegible] bila gelombang [illegible] ruang. Sebagian [illegible] dipantulkan, dicerap, [illegible] atau ditransmisikan ke ruang [illegible] tergantung pada sifat akustik dari [illegible]

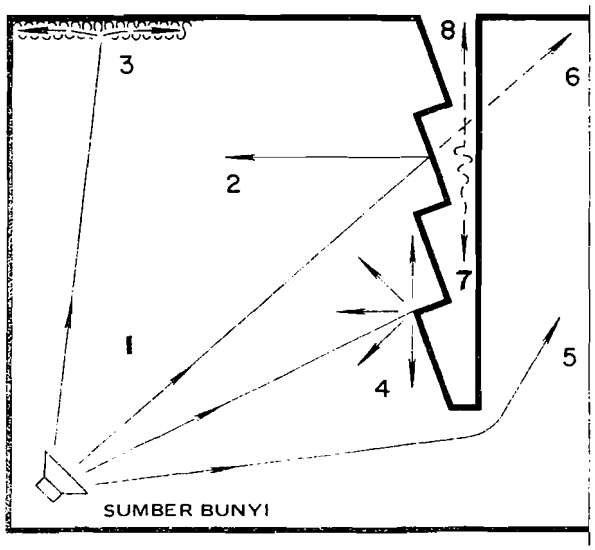
BAB EMPAT

Gejala Akustik dalam Ruang Tertutup

Gelombang bunyi di tempat terbuka, yang merambat dari sumbernya dengan muka gelombang berbentuk bola yang terus-menerus membesar, segera melemah bila jarak dari sumbernya bertambah.

Dalam merancang ruang untuk bermacam-macam tujuan, sang arsitek akan paling sering menemui masalah-masalah akustik yang berhubungan dengan ruang tertutup. Perambatan dan sifat gelombang bunyi dalam ruang tertutup lebih sulit daripada di udara terbuka. Untuk mengikuti jejak yang agak rumit dari gelombang bunyi yang hanya satu saja di dalam suatu ruang, dibutuhkan pengalaman dan daya untuk membayangkannya.

Mempelajari kelakuan gelombang bunyi dalam suatu ruang dapat disederhanakan bila lapisan-lapisan perapatan dan peregangan yang memancar ke luar diganti oleh sinar bunyi khayal, yang tegaklurus pada muka gelombang yang bergerak maju. Sinar ini merambat dalam garis-garis lurus pada tiap arah di dalam ruang, seperti halnya berkas cahaya dalam optika. Pendekatan semacam ini dalam akustik arsitektur, yang menyamakan kelakuan gelombang bunyi dengan kelakuan sinar cahaya, disebut *akustik geometrik.* Gambar 4.1 menunjukkan apa yang terjadi bila gelombang bunyi menumbuk dinding-dinding suatu ruang. Sebagian energinya akan dipantulkan, diserap, disebarkan, dibelokkan atau ditransmisikan ke ruang yang berdampingan, tergantung pada sifat akustik dindingnya.



DENAH

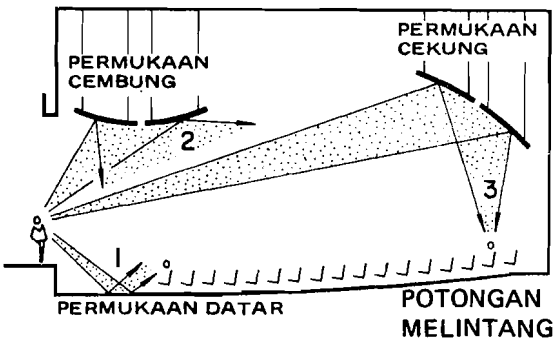
Gambar 4.1 Kelakuan bunyi dalam ruang tertutup: (1) bunyi datang atau bunyi langsung; (2) bunyi pantul; (3) bunyi yang diserap oleh lapisan permukaan; (4) bunyi difus atau bunyi yang disebar; (5) bunyi difraksi atau bunyi yang dibelokkan; (6) bunyi yang ditransmisi; (7) bunyi yang hilang dalam struktur bangunan; (8) bunyi yang dirambatkan oleh struktur bangunan.

4.1 Pemantulan Bunyi

Permukaan yang keras, tegar dan rata, seperti beton, bata, batu, plester, atau gelas, memantulkan hampir semua energi bunyi yang jatuh padanya. Gejala pemantulan bunyi ini hampir serupa dengan pemantulan cahaya yang terkenal, (gelombang bunyi 2 dalam Gambar 4.1) karena sinar bunyi datang dan pantul terletak dalam bidang datar sama dan sudut gelombang bunyi datang sama dengan sudut gelombang bunyi pantul (hukum pemantulan). Namun harus diingat, bahwa panjang gelombang bunyi jauh lebih panjang dari panjang gelombang sinar cahaya, dan hukum pemantulan bunyi hanya berlaku jika panjang gelombang bunyi adalah kecil dibandingkan ukuran permukaan pemantul. Ini berarti bahwa penggunaan hukum ini harus dipikirkan dengan cermat untuk bunyi berfrekuensi rendah.

Permukaan pemantul cembung cenderung menyebarkan gelombang bunyi dan permukaan cekung cenderung mengumpulkan gelombang bunyi pantul dalam ruang (Gambar 4.2).

Dalam auditorium ukuran sedang dan besar, kondisi mendengar dapat banyak diperbaiki dengan penggunaan pemantul-pemantul bunyi yang besar yang ditempatkan di tempat yang sesuai (Bab 6).



Gambar 4.2 Pemantulan bunyi dari permukaan-permukaan dengan bentuk berbeda: (1) pemantulan merata; (2) penyebaran bunyi; (3) pemusatan bunyi.

4.2 Penyerapan Bunyi

Bahan lembut, berpori dan kain serta juga manusia, menyerap sebagian besar gelombang bunyi yang menumbuk mereka, dengan perkataan lain, mereka adalah penyerap bunyi. Dari definisi, *penyerapan bunyi* adalah perubahan energi bunyi menjadi suatu bentuk lain, biasanya panas, ketika melewati suatu bahan atau ketika menumbuk suatu permukaan (gelombang bunyi 3 dalam Gambar 4.1). Jumlah panas yang dihasilkan pada perubahan energi ini adalah sangat kecil, sedang kecepatan perambatan gelombang bunyi tidak dipengaruhi oleh penyerapan.

Sebenarnya semua bahan bangunan menyerap bunyi sampai batas tertentu, tetapi pengendalian akustik bangunan yang baik membutuhkan penggunaan bahan-bahan dengan tingkat penyerapan bunyi yang tinggi.

Dalam akustik lingkungan unsur-unsur berikut dapat menunjang penyerapan bunyi:

1. Lapisan permukaan dinding, lantai dan atap.
2. Isi ruang seperti penonton, bahan tirai, tempat duduk dengan lapisan lunak dan karpet.
3. Udara dalam ruang.

Berjenis-jenis bahan penyerap bunyi dan unsur-unsur lain yang berperan dalam penyerapan bunyi dijelaskan dalam Bab 5.

Efisiensi penyerapan bunyi suatu bahan pada suatu frekuensi tertentu dinyatakan oleh *koefisien penyerapan bunyi.* Koefisien penyerapan bunyi suatu permukaan adalah bagian energi bunyi datang yang diserap, atau tidak dipantulkan oleh permukaan. Koefisien ini dinyatakan dalam huruf Greek α. Nilai α dapat berada antara 0 dan 1; misalnya pada 500 Hz bila bahan akustik menyerap 65 persen dari energi bunyi datang dan memantulkan 35 persen daripadanya, maka koefisien penyerapan bunyi bahan ini adalah 0,65. Permukaan interior yang keras, yang tak dapat ditembus (kedap), seperti bata, bahan bangunan batu (masonry), batu dan beton, biasanya menyerap energi gelombang bunyi datang kurang dari 5 persen dan memantulkan 95 persen atau lebih; koefisien penyerapan bahan-bahan ini kurang dari 0,05. Di

lain pihak lapisan isolasi tebal menyerap lebih dari 80 persen energi gelombang bunyi yang datang; dalam hal ini koefisien penyerapan adalah di atas 0,80. Koefisien penyerapan bunyi berubah dengan sudut datang gelombang bunyi pada bahan dan dengan frekuensi. Nilai koefisien penyerapan bunyi pada suatu frekuensi tertentu, seperti yang ada dalam kepustakaan akustik arsitektur, dirata-rata terhadap semua sudut datang pada suatu frekuensi tertentu (datang acak).

Adalah suatu kebiasaan standar untuk membuat daftar nilai koefisien penyerapan bunyi pada wakil frekuensi standar yang meliputi bagian yang paling penting dari jangkauan frekuensi audio, yaitu pada 125, 250, 500, 1000, 2000, dan 4000 Hz atau 128, 256, 512, 1024, 2048, dan 4096 Hz.

Dalam kepustakaan akustik arsitektur dan pada lembaran informasi yang diterbitkan oleh pabrik-pabrik dan penyalur, bahan akustik komersial kadang-kadang dicirikan oleh *koefisien reduksi bising* (noise-reduction coefficient — NRC), yang merupakan rata-rata berhitung dari koefisien penyerapan bunyi pada frekuensi 250, 500, 1000, dan 2000 Hz yang dinyatakan dalam kelipatan terdekat dari 0.05. Nilai ini berguna dalam membandingkan penyerapan bunyi bahan-bahan akustik komersial secara menyeluruh bila digunakan untuk tujuan reduksi bising.

Penyerapan bunyi suatu permukaan (penyerapan permukaan) diukur dalam *sabins*, sebelumnya disebut *satuan jendela terbuka* (open-window units). Satu sabin menyatakan suatu permukaan seluas 1 ft^2 (atau 1 m^2) yang mempunyai koefisien penyerapan $\alpha = 1.0$. Penyerapan permukaan diperoleh dengan mengalikan luas permukaan, dalam ft^2 (atau m^2), dengan koefisien penyerapan bunyinya. Sebagai contoh, suatu permukaan akustik meliputi luasan $S = 120$ ft^2 (11 m^2) dan mempunyai koefisien penyerapan bunyi $\alpha = 0{,}50$ mempunyai penyerapan permukaan $S\alpha = 120 \times 0{,}50 = 60$ ft^2 (atau $11 \times 0{,}50 = 5{,}5$ m^2). W.C. Sabinelah yang menyebut satuan penyerapan permukaan sebagai satuan jendela terbuka, karena satuan ini sama dengan penyerapan jendela terbuka dengan luas yang sama, yang tentunya menyerap 100 persen dari energi bunyi datang dan karena itu mempunyai koefisien penyerapan 1.0. Satuan jendela terbuka telah diganti namanya menjadi sabin untuk memperingati Sabine.

Penyerapan bunyi yang dilakukan oleh orang atau benda-benda telanjang juga dapat dinyatakan dengan bilangan tertentu dalam sabin per orang atau sabin per benda. Sebagai contoh, orang di tempat duduk empuk dalam teater, pada 500 Hz akan melakukan penyerapan sekitar 4 sampai 5 sabin. Namun, adalah lebih mudah untuk menyatakan penyerapan yang dilakukan oleh seorang penonton berdasarkan luas lantai yang ditempatinya, dalam feet persegi (atau meter persegi), termasuk gang antara tempat duduk (aisle) sampai selebar 3,5 ft (1,07 m).

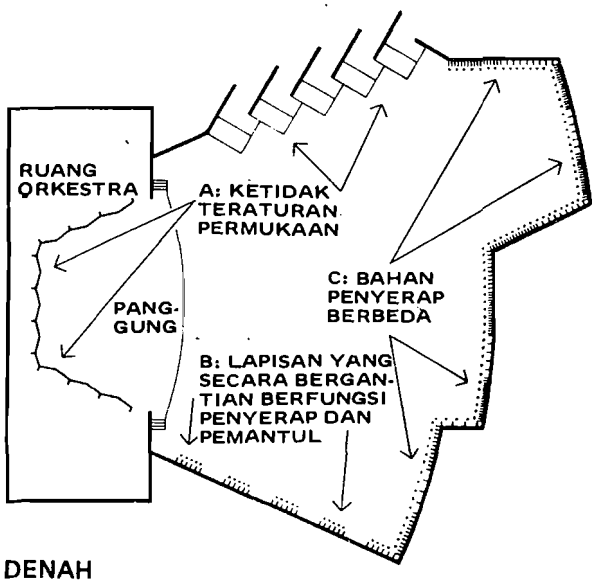
4.3 Difusi Bunyi

Bila tekanan bunyi di setiap bagian suatu auditorium sama dan gelombang bunyi dapat merambat dalam semua arah, maka medan bunyi dikatakan serba sama atau *homogen;* dengan perkataan lain, *difusi bunyi* atau *penyebaran bunyi* terjadi dalam ruang (gelombang bunyi 4 dalam Gambar 4.1). Difusi bunyi yang cukup adalah ciri akustik yang diperlukan pada jenis-jenis ruang tertentu (ruang konser, studio radio dan rekaman, dan ruang-ruang musik), karena ruang-ruang itu membutuhkan distribusi bunyi yang merata, mengutamakan kualitas musik dan pembicaraan aslinya, dan menghalangi terjadinya cacat akustik yang tak diinginkan.

Difusi bunyi dapat diciptakan dengan beberapa cara (Gambar 4.3).

1. Pemakaian permukaan dan elemen penyebar yang tak teratur dalam jumlah yang banyak sekali, seperti pilaster, pier, balok-balok telanjang, langit-langit yang terkotak-kotak, pagar balkon yang dipahat dan dinding-dinding yang bergerigi.
2. Penggunaan lapisan permukaan pemantul bunyi dan penyerap bunyi secara bergantian.
3. Distribusi lapisan penyerap bunyi yang berbeda secara tak teratur dan acak.

Harus diingat bahwa ukuran keseluruhan dari permukaan yang menonjol dan ukuran dari tempelan lapisan penyerap harus cukup besar dibanding panjang gelombang bunyi dalam seluruh jangkauan frekuensi audio. Proyeksi penonjolan permukaan tak teratur harus mencapai paling sedikit sepertujuh panjang gelombang bunyi yang harus didifusikan.



Gambar 4.3 Difusi bunyi (penyebaran), atau distribusi energi bunyi yang merata dalam auditorium, dapat diperoleh dengan menggunakan (A) ketidakteraturan permukaan, (B) permukaan penyerap bunyi dan pemantul bunyi yang digunakan secara bergantian, atau (C) lapisan akustik dengan penyerapan bunyi yang berbeda.

4.4 Difraksi Bunyi

Difraksi adalah gejala akustik yang menyebabkan gelombang bunyi dibelokkan atau dihamburkan sekitar penghalang seperti sudut (corner), kolom, tembok, dan balok (Gambar 4.1, gelombang bunyi 5). Difraksi, yaitu pembelokan dan penghamburan gelombang bunyi sekeliling penghalang, lebih nyata pada frekuensi rendah daripada frekuensi tinggi. Ini membuktikan bahwa hukum akustik geometri tidak sesuai untuk meramalkan dengan tepat kelakuan bunyi dalam ruang tertutup karena penghalang yang biasanya ada dalam akustik ruang adalah terlampau kecil dibanding dengan panjang gelombang bunyi yang dapat didengar. Walaupun akustik geometri merupakan pendekatan yang berguna bila berhubungan dengan masalah-masalah yang berkaitan dengan bunyi frekuensi tinggi, akustik geometri ini hampir tak dapat digunakan untuk frekuensi di bawah 250 Hz. Dengan perkataan lain, bunyi frekuensi rendah (panjang gelombang besar) tidak akan mengikuti hukum akustik geometri bila mereka berhubungan dengan elemen arsitektur dengan ukuran kecil. Khususnya mereka tidak akan merambat dalam arah yang lurus melewati lubang dan tidak akan berdifraksi atau dihamburkan oleh elemen akustik skala kecil seperti balok-balok, peti, pilaster, dan perhiasan di tembok (cornices).

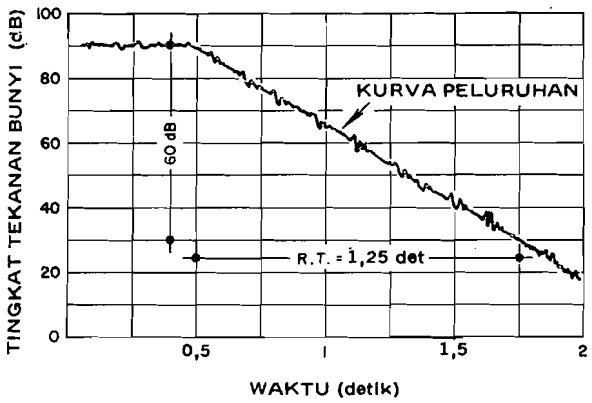
Pengalaman memberikan banyak bukti bahwa balkon yang dalam mengakibatkan suatu bayangan akustik bagi penonton di bawahnya, dan dengan jelas menyebabkan hilangnya bunyi frekuensi tinggi (panjang gelombang pendek) yang tidak membelok sekitar tepi balkon yang menonjol. Hal ini menciptakan keadaan mendengar yang jelek di bawah balkon. Namun, difraksi mengurangi cacat akustik ini, walaupun hanya untuk jangkauan frekuensi audio di bagian rendah.

4.5 Dengung

Bila bunyi tunak (steady) dihasilkan dalam suatu ruang, tekanan bunyi membesar secara bertahap, dan dibutuhkan beberapa waktu (dalam kebanyakan ruang sekitar 1 sekon) bagi bunyi untuk mencapai nilai keadaan tunaknya.

Dengan cara sama, bila sumber bunyi telah berhenti, suatu waktu yang cukup lama akan berlalu sebelum bunyi hilang (meluruh) dan tak dapat didengar. Bunyi yang berkepanjangan ini sebagai akibat pemantulan yang berturut-turut dalam ruang tertutup setelah sumber bunyi dihentikan disebut *dengung*. Ia mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap kondisi mendengar dalam auditorium karena kehadirannya mengubah persepsi/tanggapan terhadap bunyi *transien*,

yaitu bunyi yang mulai dan berhenti dengan tiba-tiba. Dalam pengendalian dengung dalam auditorium, bunyi transien dari pidato dan musik perlu dilindungi dan ditingkatkan untuk menjamin inteligibilitas pembicaraan yang tertinggi dan kenikmatan musik yang terlengkap.



Gambar 4.4 Waktu dengung (RT) suatu ruang didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan suatu bunyi yang tiba-tiba dihentikan untuk berkurang dengan 60 dB.

Pentingnya pengendalian dengung dalam rancangan akustik auditorium telah mengharuskan masuknya besaran standar yang relevan, yaitu *waktu dengung* (RT). Ini adalah waktu agar TTB dalam ruang berkurang 60 dB setelah bunyi dihentikan (Gambar 4.4).

Seperti telah dinyatakan sebelum ini, Sabine adalah orang pertama yang membentuk hubungan kuantitatif antara RT, volume ruang dan jumlah penyerapan total yang digunakan pada dinding ruang. Rumus Sabine, yang masih tetap berguna saat ini untuk perhitungan RT yang disederhanakan, adalah

$$\mathrm{RT} = \frac{0{,}05\,V}{A + xV}$$

dengan RT = waktu dengung, sekon
V = volume ruang, feet kubik
A = penyerapan ruang total, sabin feet persegi
x = koefisien penyerapan udara

Koefisien penyerapan udara tergantung pada temperatur kelembaban udara dan juga pada frekuensi bunyi.

Dalam sistem metrik rumus RT yang disederhanakan adalah

$$\mathrm{RT} = \frac{0{,}16\,V}{A + xV}$$

dengan RT = waktu dengung, sekon
V = volume ruang, meter kubik
A = penyerapan ruang total, sabin meter persegi
x = koefisien penyerapan udara

Penyerapan suatu permukaan diperoleh dengan mengalikan luasnya S dengan koefisien penyerapan α, dan penyerapan ruang total A diperoleh dengan menjumlahkan perkalian-perkalian ini dengan mengikutsertakan penyerapan yang dilakukan oleh penonton dan benda-benda lain dalam ruang (tempat duduk, karpet, tirai, dan lain-lain). Jadi

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3 + \cdots + S_n\alpha_n$$

dengan $S_1, \ldots, S_n$ adalah luas masing-masing permukaan, dalam feet persegi (atau meter persegi), dan $\alpha_1, \ldots, \alpha_n$ adalah koefisien penyerapannya masing-masing.

Nilai koefisien penyerapan udara x yang diperhatikan hanya pada dan di atas 1000 Hz, disertakan dalam Apendiks Tabel A.1.

Rumus Sabin menyediakan pendekatan yang beralasan untuk perhitungan RT, dan rumus ini memungkinkan arsitek melakukan pengendalian dengan cepat dan mudah bila ia melanjutkan rancangan akustik suatu auditorium di mana penyerapan ruangnya cukup. Untuk perhitungan dengung ruang dengan persyaratan tertentu yang lebih tepat, seperti ruang konser, studio radio atau studio rekaman, maka dengan lapisan penyerap bunyi yang banyak, rumus dan metoda lain yang dikembangkan dan diperbaiki dapat diperoleh, namun, mereka ada di luar lingkup buku ini, karena penggunaannya ada di luar praktek rancangan arsitektur yang lazim.

Perlu ditekankan di sini bahwa semua rumus dengung hanya berlaku untuk auditorium di mana bunyi adalah difus; artinya energi bunyi didistribusikan merata di seluruh ruang dan karena itu bunyi menghilang dengan cara halus dan merata, bebas dari penyimpangan yang mengganggu. Medan bunyi tidak dapat dianggap difus dalam ruang (1) yang mempunyai lapisan akustik yang dipusatkan pada satu daerah atau pada daerah yang sangat sempit, (2) yang mempunyai dinding-dinding yang menyebabkan pemusatan bunyi, misalnya karena kubah yang sangat memantul, dinding yang dilengkungkan dan dinding yang tak diberi lapisan permukaan akustik, dan lain-lain, atau (3) yang mempunyai satu ukuran sisi yang tidak sebanding dengan ukuran dua sisi yang lain. Dalam kenyataannya, hanya ada sedikit auditorium di mana medan bunyi benar-benar difus. Karena alasan ini perbedaan yang cukup besar akan teramati antara nilai-nilai RT yang diukur dan yang dihitung dalam kebanyakan auditorium. Untunglah pengadaan medan bunyi yang difus sempurna dalam ruang tidak terlalu penting karena pada keadaan difus sempurna karakteristik pengarahan gelombang bunyi datang akan berangsur hilang.

Karena penyerapan bermacam-macam bahan dan lapisan penutup yang digunakan dalam rancangan auditorium kadang-kadang berubah cukup banyak dengan frekuensi, maka nilai RT biasanya berubah dengan frekuensi juga. Karena itu penting untuk menyatakan atau menghitung RT untuk sejumlah frekuensi wakil dari jangkauan frekuensi audio, misalnya paling sedikit pada 125, 500, dan 2000 Hz. Jumlah frekuensi wakil ini tergantung pada pentingnya hal-hal yang berkaitan dengan pertimbangan akustik. Bila suatu nilai RT disebutkan tanpa menyatakan suatu frekuensi tertentu, maka biasanya RT tersebut dimisalkan sebagai RT pada 500 (atau 512) Hz.

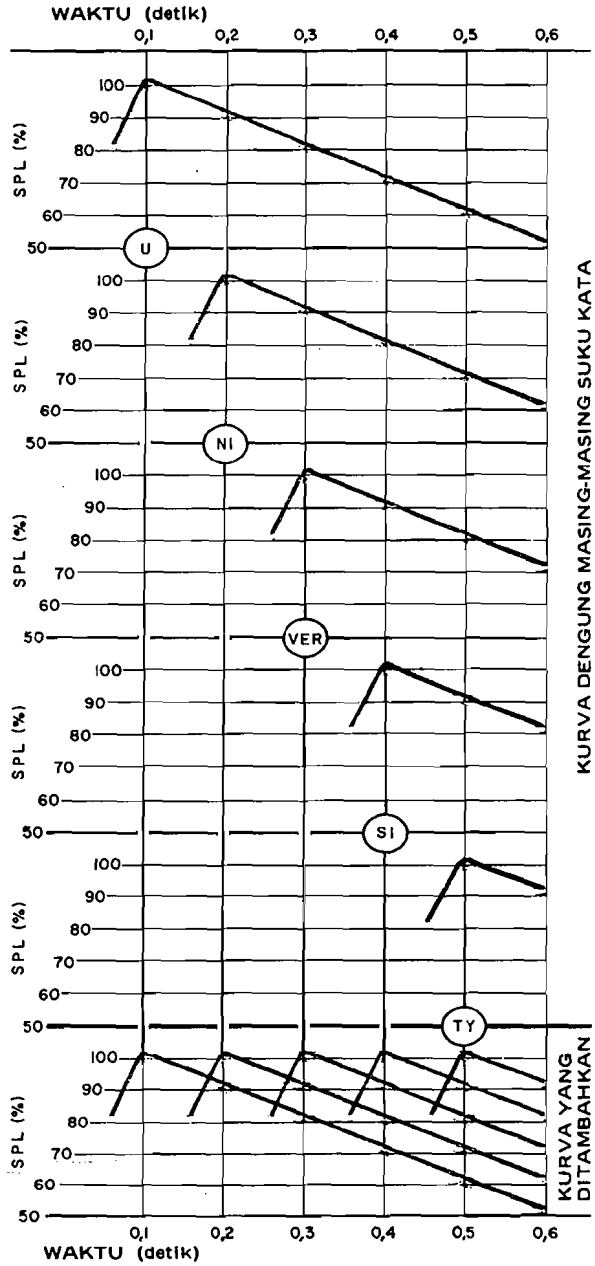
Suatu contoh perhitungan waktu dengung auditorium sekolah ditunjukkan dalam Bab 19.

Dengung yang berlebihan menciptakan keadaan akustik di mana bunyi transien yang mendahului bunyi-bunyi yang sedang menjadi pusat perhatian, tetap terdengar. Bunyi transien ini menyelubungi dan bertumpang-tindih dengan pidato dan bunyi musik berikutnya.

Kondisi akustik yang tak disukai, seringkali merusak, yang dijumpai dalam auditorium yang sangat dengung (terutama katedral, seperti St. Paul di London, katedral Chartres, Paris, Cologne dan Milan, dan St. Peter di Roma) sudah dikenal. Inteligibilitas pembicaraan, praktis tak ada dalam auditorium gereja-gereja ini.

Gambar 4.5 menunjukkan secara sederhana, efek merusak dari dengung yang berlebihan pada inteligibilitas pembicaraan. Dalam ruang yang sangat dengung, suku kata yang pertama *u* dari kata university, bila diucapkan akan menghilang terlampau lambat, sehingga ketika suku kata berikutnya *ni* terdengar, suku kata pertama *u* bertahan sekitar 90 persen dari tingkatnya semula dan karena itu menghasilkan efek menyelubungi pada suku kata kedua. Jika suku kata ketiga *ver* diucapkan, suku kata pertama *u* menyajikan sekitar 80 persen dan suku kata kedua *ni* sekitar 90 persen dari tingkat semula, dan seterusnya. Dengung yang berlebihan dari suku kata yang diucapkan terlebih dahulu dengan demikian mengaburkan suku kata yang baru diucapkan, sehingga banyak mereduksi inteligibilitas pembicaraan. Dalam kondisi dengung semacam itu pendengar dan pembicara menderita.

Gambar 4.6 menunjukkan kurva-kurva RT lima buah auditorium yang terkenal karena akustiknya yang baik, dan ditulis dalam Tabel 4.1.



Gambar 4.5 Gambaran sederhana RT yang berlebihan yang mempunyai pengaruh merusak pada inteligibilitas pembicaraan; TTB, tingkat tekanan bunyi.

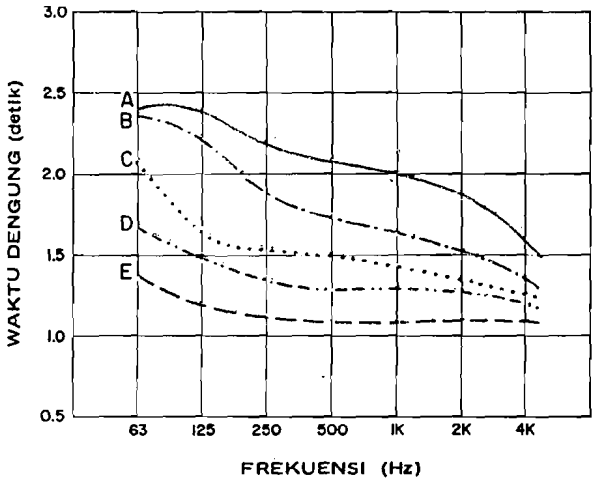
TABEL 4.1 Data Akustik Lima Auditorium

Dengan urutan RT yang mengecil

Kurva*	Auditorium	RT pada 500 Hz (dipakai), detik	Volume, ft kubik (m kubik)	Kapasitas penonton
A	Grosser Musikvereins-saal, Vienna	2,1	530.000 (15.000)	1.680
B	Salle Wilfrid Pelletier, Montreal	1,75	936.000 (26.500)	3.000
C	Kresge Auditorium, Cambridge, Mass.	1,5	354.000 (10.200)	1.238
D	Tivoli Koncertsal, Copenhagen	1,3	450.000 (12.740)	1.789
E	Royal Opera House, London	1,1	432.500 (12.240)	2.180

* Kurva RT ditunjukkan dalam Gambar 4.6

RT yang sangat panjang dapat dideteksi dengan mudah dalam auditorium yang ada dengan hanya mendengarkan, karena dalam ruang semacam itu pidato biasanya tidak jelas dan musik tidak dapat dinikmati. Namun, bila auditorium yang ada memerlukan perbaikan akustik, langkah-langkah benar yang harus diambil tidak dapat ditentukan dengan pengalaman mendengarkan, artinya penilaian subyektif saja. Pengukuran akustik yang tepat harus diadakan untuk menentukan jumlah lapisan akustik yang diperlukan.



Gambar 4.6 Kurva RT lima auditorium, dalam Tabel 4.1, yang dikenal bagus akustiknya.

4.6 Resonansi Ruang

Air yang dituang ke dalam guci/kendi menghasilkan bunyi deguk (gurgling), frekuensinya naik secara bertahap bila jumlah air dalam guci bertambah. Udara dalam guci beresonansi pada frekuensi-frekuensi tertentu (seperti kamar mandi, yang dengan resonansinya sendiri, mendorong hasrat menyanyi penyanyi-penyanyi awam). Suatu ruang tertutup dengan permukaan interior pemantul bunyi tanpa diinginkan menonjolkan frekuensi-frekuensi tertentu, yang disebut *ragam getaran normal* (normal modes of vibration) ruang tersebut.

Ruang mempunyai ragam normal dalam jumlah yang banyak, dan tergantung pada bentuk dan ukurannya. Efek ragam normal yang mengganggu, terutama jelas pada jangkauan frekuensi rendah, di mana ragam ini tidak didistribusikan secara sama. Pengaruhnya yang merusak dapat dikurangi (1) dengan membagi ruang yang secara akustik disukai (Bab 10), (2) dengan secara tidak teratur menempatkan dinding-dinding ruang, (3) dengan secara berlimpah-limpah menggunakan permukaan tak teratur (penyebar/diffusers), atau (4) dengan mendistribusi elemen penyerap secara merata pada dinding-dinding batas.

KEPUSTAKAAN

Buku

Parkin, P.H., dan H.R. Humphreys: *Acoustics, Noiser and Buildings*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, bab 2.

Beranek, L. L. (ed.): *Noise Reduction*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1960, bab 11.

The Use of Architectural-acoustical Materials, Acoustical Materials Association, New York, 1963, 36 halaman.

BAB
LIMA

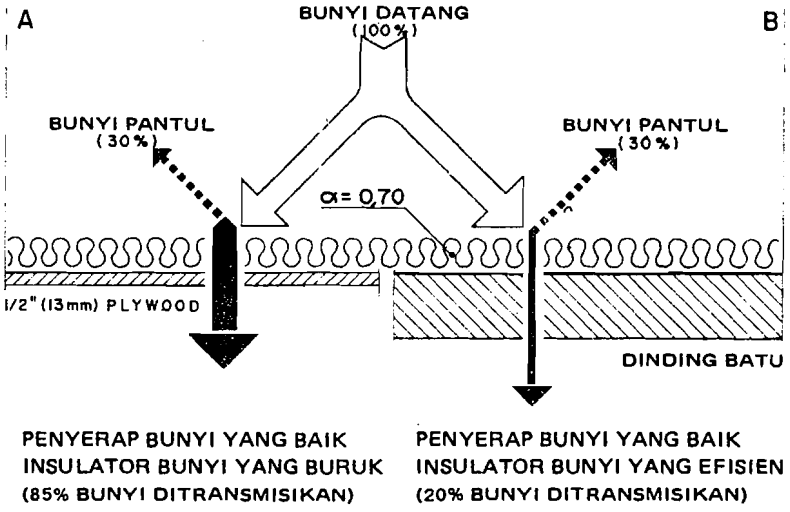
Bahan dan Konstruksi Penyerap Bunyi

Semua bahan bangunan dan lapisan permukaan yang digunakan dalam konstruksi auditorium mempunyai kemampuan untuk menyerap bunyi sampai suatu derajat tertentu. Namun dalam bab ini, hanya bahan bangunan yang diperdagangkan dan yang biasa dirancang atau lapisan permukaan yang secara jelas menunjang pengendalian akustik auditorium atau reduksi bising yang akan dibahas.

Dalam kondisi istimewa, banyak bahan bangunan yang menyerap bunyi juga berhasil digunakan dalam konstruksi insulasi bunyi (Bab 14), tetapi *penyerapan bunyi* tidak boleh dikacaukan dengan *insulasi bunyi.*

Bila bunyi menumbuk suatu permukaan, maka ia dipantulkan atau diserap. Energi bunyi yang diserap oleh lapisan penyerap sebagian diubah menjadi panas, tetapi sebagian besar ditransmisikan ke sisi lain lapisan tersebut, kecuali bila transmisi tadi dihalangi oleh penghalang yang berat dan kedap. Dengan perkataan lain penyerap bunyi yang baik adalah pentransmisi bunyi yang efisien dan karena itu adalah insulator bunyi yang tidak baik. Sebaliknya dinding insulasi bunyi yang efektif akan menghalangi transmisi bunyi dari satu sisi ke sisi lain (Gambar 5.1).

Bahan-bahan dan konstruksi penyerap bunyi yang digunakan dalam rancangan akustik suatu auditorium atau yang dipakai sebagai pengendali bunyi dalam ruang-ruang bising dapat diklasifikasi menjadi (1) *bahan berpori-pori,* (2) *penyerap panel* atau *penyerap selaput,* dan (3) *resonator rongga* (atau *Helmholtz*).



Gambar 5.1 (A) Penyerap yang baik (α = 0,70) dilekatkan pada insulator bunyi yang jelek, seperti plywood, tidak akan mencegah transmisi bunyi lewat dinding semacam itu. (B) Sebagai ganti plywood, penghalang insulasi bunyi yang efektif, seperti bahan batu-batuan, harus digunakan untuk mengurangi transmisi bising lewat struktur itu.

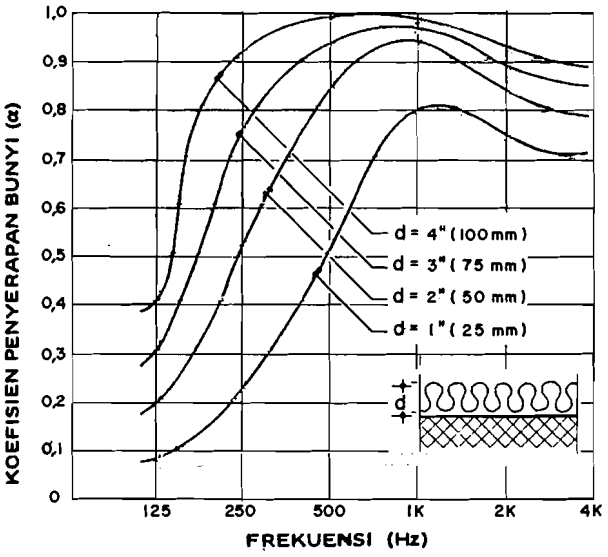
Tiap bahan akustik kelompok-kelompok ini dan kombinasi bahan-bahan ini (sebagai suatu rancangan lapisan akustik) dapat dipasang pada dinding ruang atau digantung di udara sebagai penyerap ruang. Cara pemasangannya mempunyai pengaruh yang besar pada penyerapan bunyi kebanyakan bahan.

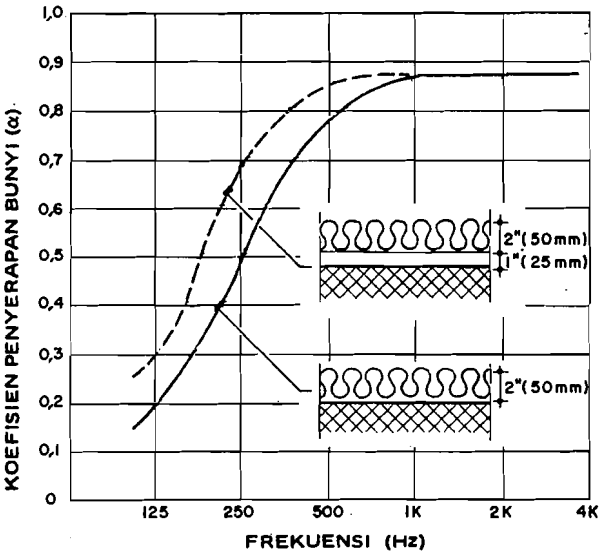
5.1 Bahan Berpori

Karakteristik akustik dasar semua *bahan berpori,* seperti papan serat (fiber board), plesteran lembut (soft plasters), mineral wools, dan selimut isolasi, adalah suatu jaringan selular dengan pori-pori yang saling berhubungan. Energi bunyi datang diubah menjadi energi panas dalam pori-pori ini. Bagian bunyi datang yang diubah menjadi panas diserap, sedangkan sisanya, yang telah berkurang energinya, dipantulkan oleh permukaan bahan. Bahan-bahan selular, dengan sel yang tertutup dan tidak saling berhubungan seperti damar busa (foamed resins), karet selular (cellular rubber) dan gelas busa, adalah penyerap bunyi yang buruk.

Gambar 5.2 dan 5.3 memperlihatkan karakteristik penyerap berpori sebagai berikut: (1) penyerapan bunyinya lebih efisien pada frekuensi tinggi dibandingkan pada frekuensi rendah, dan (2) efisiensi akustiknya membaik pada jangkauan frekuensi rendah dengan bertambahnya tebal lapisan penahan yang padat dan dengan bertambahnya jarak dari lapisan penahan ini.

Bahan berpori komersial dapat dibagi dalam tiga kategori: (1) unit akustik siap pakai, (2) plesteran akustik dan bahan yang disemprotkan, dan (3) selimut (isolasi) akustik.



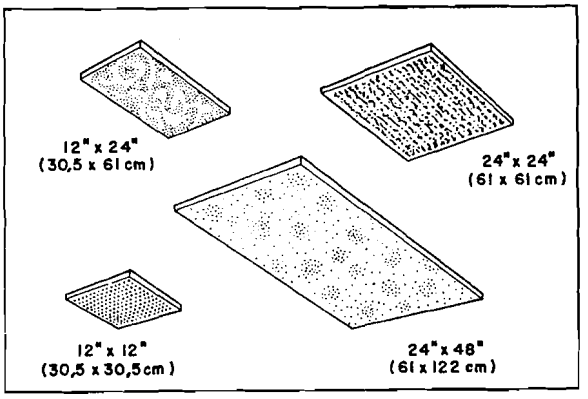


Gambar 5.2 (Atas, kiri) Penyerapan bunyi bahan berpori bertambah dengan ketebalan, terutama pada frekuensi rendah. Penyerapan bunyi selimut Fiberglas dengan kerapatan 3,25 lb per ft kubik (52 kg per meter kubik) dan dengan bermacam-macam ketebalan dibandingkan (pengukuran perusahaan).

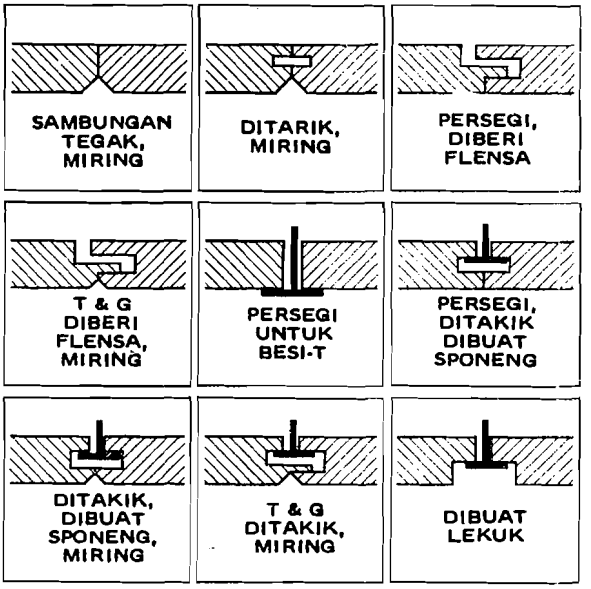
Gambar 5.3 (Atas, kanan) Penyerapan bunyi selimut mineral-wool 2 inci (50 mm) yang dipasang pada lapisan penunjang tegar dan pada kerangka 1 inci (25 mm).

5.1.1 Unit Akustik Siap Pakai

Bermacam-macam jenis ubin selulosa dan serat mineral yang berlubang maupun tak berlubang, bercelah (fissured), atau bertekstur, panel penyisip, dan lembaran logam berlubang dengan bantalan penyerap, merupakan unit yang khas dalam kelompok ini (Gambar 5.4 dan 5.5). Mereka dapat dipasang dengan berbagai cara, sesuai dengan petunjuk pabrik, misalnya, disemen pada sandaran/penunjang padat, dipaku atau dibor pada kerangka kayu, atau dipasang pada sistem langit-langit gantung. Unit siap pakai khusus, seperti Acoustic Space Units (dari U.S. Gypsum Co.), dan ubin Geocoustic (oleh Pittsburgh Corning) digunakan pada dinding dan permukaan langit-langit dalam susunan yang berjarak antara atau



Gambar 5.4 Ukuran-ukuran ubin akustik yang umum diperdagangkan.



Gambar 5.5 Kondisi tepi ubin akustik yang umum diperdagangkan.

dalam potongan-potongan kecil. Mereka dipasang dengan semen atau dengan kaitan mekanis sederhana. Penyerapan bunyinya lebih besar dari ubin akustik standar karena tepi-tepinya yang kelihatan dilapisi dengan cara sama seperti permukaannya (Gambar 5.6). Katalog perdagangan memuat penjelasan terperinci dan keterangan tentang ukuran, tebal, lapisan penutup, cara pemasangan, efisiensi akustik, perawatan, daya tahan terhadap api dan sifat-sifat penting lain unit akustik siap pakai ini. Sifat-sifat akustik produk yang dicantumkan dalam kepustakaan perdagangan haruslah dibuat oleh laboratorium akustik yang mendapat pengakuan sehingga nilai-nilai yang tepat yang berhubungan dengan efisiensi akustiknya dapat dibandingkan dengan dasar yang sama.

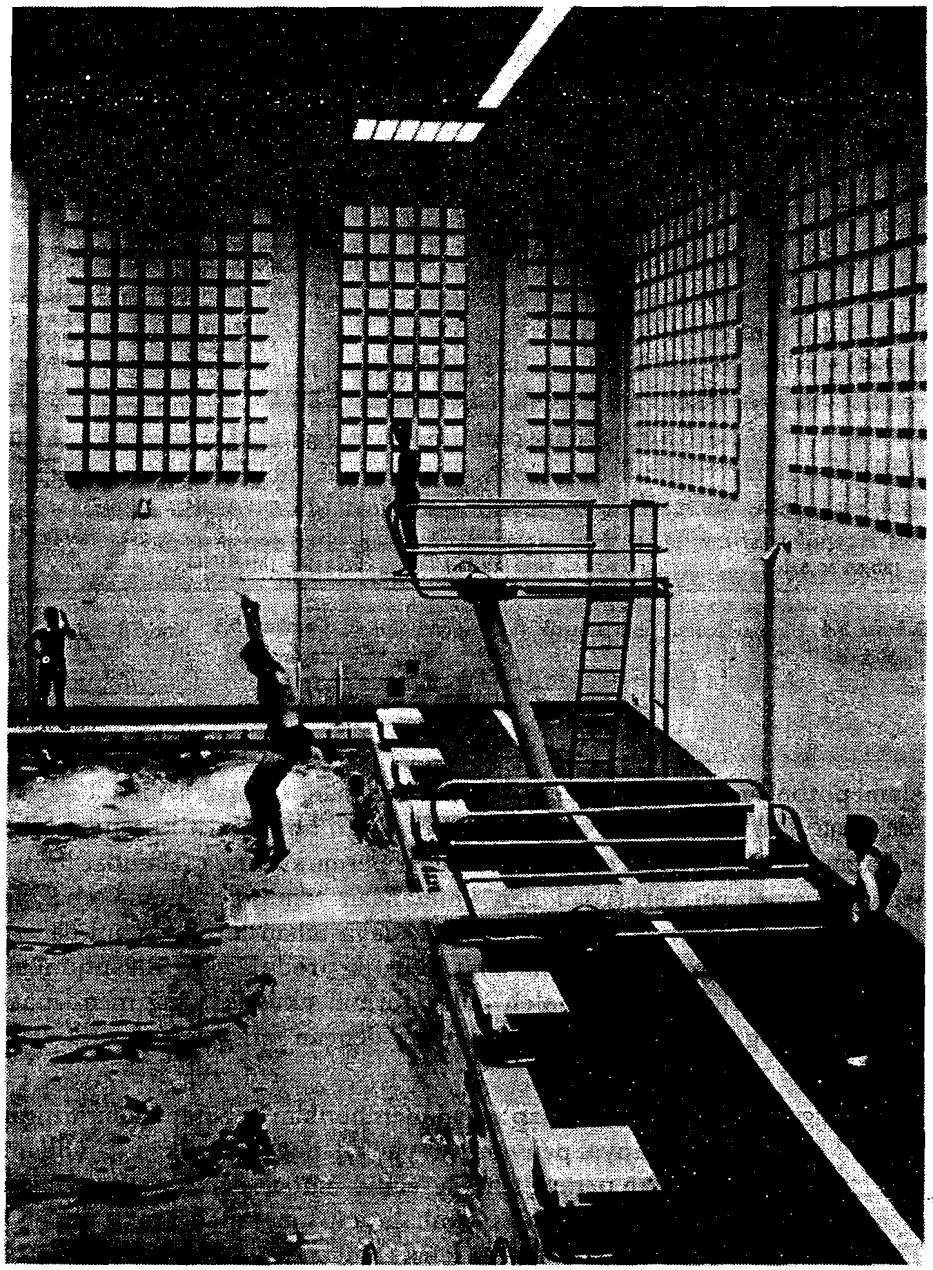
Penggunaan unit akustik siap pakai memberikan beberapa keuntungan:

1. Mereka mempunyai penyerapan yang dapat diandalkan dan dijamin pabrik.
2. Pemasangan dan perawatannya relatif mudah dan murah.
3. Beberapa unit dapat dihias kembali tanpa mempengaruhi jumlah penyerapannya.
4. Penggunannya dalam sistem langit-langit dapat disatukan secara fungsional dan secara visual dengan persyaratan penerangan, pemanasan atau pengkondisian udara; mereka membantu dalam reduksi bising dan mempunyai fleksibilitas dalam penyekatan.
5. Bila dipasang dengan tepat, penyerapannya dapat bertambah secara menguntungkan (Gambar 5.7).

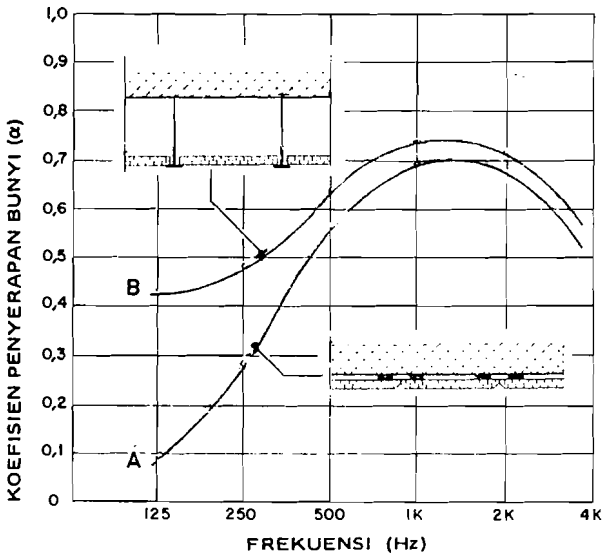
Di lain pihak, pemakaiannya menyebabkan beberapa masalah:

1. Sukar untuk menyembunyikan sambungan-sambungan antara unit yang berdampingan.
2. Mereka umumnya mempunyai struktur yang lembut, yang peka terhadap kerusakan mekanik bila dipasang pada tempat-tempat yang rendah di dinding.
3. Penyatuan keindahannya ke dalam tiap proyek auditorium menuntut kerja yang berat.
4. Penggunaan cat untuk tujuan dekorasi ulang dapat mengubah penyerapan sebagian besar unit akustik siap pakai dalam arti merusak kecuali bila petunjuk-petunjuk pabrik diikuti (Gambar 5.8).

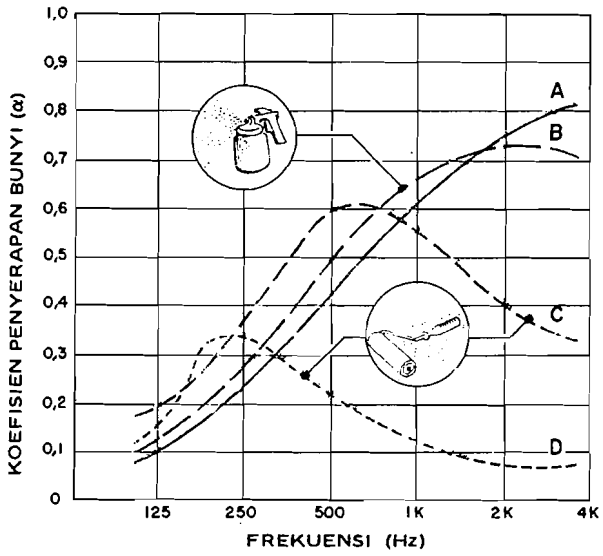
Buletin tahunan the Acoustical and Insulating Materials Association, Park Ridge Ill., berjudul *Performance Data: Architectural-acoustical Materials*, menyediakan informasi muta-



Gambar 5.6 Pengendalian akustik dengan menggunakan Acoustone Space Units di kolam renang di Minneapolis, Minn. (Foto oleh Building News, Canadian Gypsum Co., Ltd.)



Gambar 5.7 Penyerapan rata-rata ubin akustik yang umum dipakai dengan sistem adhesif/perekat (A) atau sistem gantung/suspensi.



Gambar 5.8 Pengaruh cat pada unit akustik siap pakai yang berpori: (A) permukaan tanpa lapisan; (B) satu lapisan cat yang diberikan dengan penyemprotan; (C) satu lapisan cat yang diberikan dengan disikat/disapu; (D) dua lapisan cat yang diberikan dengan disikat.

khir tentang produk yang dihasilkan anggota-anggotanya, termasuk pabrik bahan akustik terbesar di Amerika Utara.

Beberapa balok beton dan unit bangunan batu adukan yang ringan atau adukan berat yang dipilih dan dicampur dengan baik, dengan permukaan tampak yang relatif berpori, juga memberi sumbangan yang cukup pada penyerapan bunyi, terutama pada frekuensi sedang dan frekuensi tinggi.

5.1.2 Plesteran Akustik dan Bahan Yang Disemprotkan Lapisan akustik ini digunakan terutama untuk tujuan reduksi bising dan kadang-kadang digunakan dalam auditorium di mana usaha akustik lain tidak dapat dilakukan karena bentuk permukaan yang melengkung atau tidak teratur. Mereka dipakai dalam bentuk semiplastik, dengan pistol penyemprot atau dengan melapisi dengan menggunakan tangan/diplester (Sprayed Limpet Asbestos, Zonolite, Vermiculite, Sound Shield, Glatex, Dekoosto, dan lain-lain).

Efisiensi akustiknya, biasanya paling baik pada frekuensi tinggi, tergantung terutama pada kondisi pekerjaan seperti ketebalan dan komposisi campuran plesteran, jumlah perekat, keadaan lapisan dasar pada saat digunakan, dan cara lapisan digunakan. Agar memperoleh hasil akustik yang diinginkan, pekerjaan harus dilakukan oleh pekerja-pekerja yang cakap dan bertanggungjawab dan spesifikasi pabrik diikuti dengan tepat.

Perawatan plesteran akustik dan lapisan-lapisan yang disemprotkan (serat mineral yang disemprot) jelas menimbulkan beberapa kesulitan. Dekorasi ulang dapat menciptakan kemunduran pada sifat-sifat akustiknya kecuali petunjuk-petunjuk pabrik diikuti dengan sempurna.

5.1.3 Selimut (Isolasi) Akustik Selimut akustik dibuat dari serat-serat karang (rock wool), serat-serat gelas (glass wool), serat-serat kayu, lakan (felt), rambut dan sebagainya. Biasanya selimut ini dipasang pada sistem kerangka kayu atau logam, dan digunakan untuk tujuan-tujuan akustik dengan ketebalan yang bervariasi antara 1 dan 5 inci (25 dan 125 mm). Penyerapannya bertambah dengan tebal, terutama pada frekuensi-frekuensi rendah. Bila ada tempat, penyerapan frekuensi rendah dalam jumlah yang cukup besar dapat diperoleh dengan menggunakan selimut isolasi setebal 3 sampai 5 inci (75 sampai 125 mm), suatu karakteristik yang biasanya tidak ada pada penyerap berpori yang lain. Karena selimut akustik tidak menampilkan permukaan estetik yang memuaskan, maka mereka biasanya ditutupi dengan papan berlubang, wood slats, fly screening dan lain-lain dari jenis yang sesuai, dan diletakkan di atasnya serta diikatkan pada sistem kerangkanya (Paragraf 5.3.2 dan 5.3.3).

5.1.4 Karpet dan Kain Selain peranan mereka yang biasa sebagai penutup lantai, kini karpet juga digunakan sebagai bahan akustik serbaguna karena mereka menyerap bunyi dan

bising di udara (airborne) yang ada dalam ruang. Mereka mereduksi dan dalam beberapa kasus meniadakan dengan sempurna bising benturan dari atas, dan mereka menghilangkan bising permukaan (seretan kaki, bunyi langkah kaki, perpindahan perabot rumah). Karpet digunakan untuk lantai dan juga sebagai penutup dinding. Hal-hal berikut ditemukan dari percobaan yang dilakukan atas nama Carpet and Rug Institute.

Pemberian karpet pada lantai menunjang penyerapan bunyi sebagai berikut:

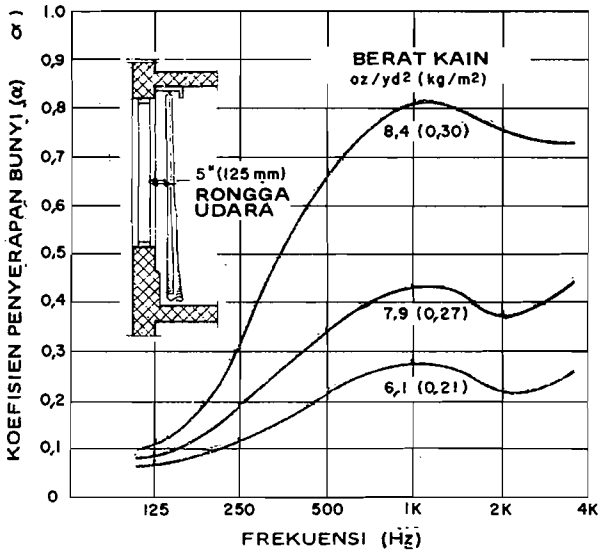
1. Jenis serat, praktis tidak mempunyai pengaruh pada penyerapan bunyi.
2. Pada kondisi yang sama tumpukan potongan (cut piles) memberikan penyerapan yang lebih banyak dibandingkan dengan tumpukan lembaran (loop piles).
3. Dengan bertambahnya tinggi dan berat tumpukan, dalam tumpukan potongan kain, penyerpan bunyi akan bertambah.
4. Dalam tumpukan lembaran kain, bila tumpukan bertambah tinggi, sedang rapat massa tetap, penyerapan bunyi bertambah; bila berat tumpukan bertambah, sedang tinggi tumpukan konstan, penyerapan bunyi bertambah hanya sampai suatu tingkat tertentu.
5. Makin kedap lapisan penunjang (backing), makin tinggi penyerapan bunyi.
6. Bantalan bulu, rami bulu (hair-jute) dan karet busa menghasilkan penyerapan bunyi yang lebih tinggi dibanding bantalan rami bulu yang dilapisi karet, karet sepon dan busa urethane yang kurang kedap.

Pemberian karpet pada lantai seperti di atas menunjang reduksi bising benturan sebagai berikut:

1. Makin berat karpet, makin banyak pencegahan terhadap bising benturan (impact noise).
2. Makin tebal karpet dan lapisan bawahnya, makin tinggi insulasi bising benturan.
3. Bantalan karet sepon, yang kurang efisien untuk penyerapan bunyi, sangat efektif terhadap bising benturan.
4. Bila bantalan dilekatkan pada karpet, maka akan dihasilkan insulasi bising benturan yang kurang efektif dibandingkan dengan lapisan yang sama yang diletakkan terpisah.
5. Bantalan bulu dan rami lebih baik daripada bantalan yang seluruhnya bulu; bantalan karet busa dan bantalan busa urethane berfungsi sangat baik terhadap bising benturan.

Pemberian karpet pada dinding menunjang penyerapan bunyi sebagai berikut:

1. Karpet yang dipasang pada dinding-dinding berbulu lebih baik daripada karpet yang direkat/dilem langsung pada dinding.
2. Karpet dengan papan mineral, rock wool, styrofoam, atau Tectum boards yang digunakan sebagai pengisi antara lapisan menghasilkan penyerapan lebih tinggi daripada tanpa pengisi.



Gambar 5.9 Penyerapan bunyi oleh kain Fiberglas berubah dengan berat bahan. Selama percobaan, kain dipasang sampai penuh 100 persen dengan rongga udara 5 inci (125 mm) di belakang kain.

Karpet pada dinding-dinding harus tahan api seperti yang biasa disyaratkan oleh peraturan bangunan lokal.

Pemberian karpet pada lantai dan dinding jelas menciptakan suasana tenang, suatu ciri yang sangat diiinginkan dalam dunia kita yang telah dipenuhi oleh polusi bising. Hal ini juga memberi sumbangan yang sampai sekarang ini tidak dimanfaatkan sebagai pengendali bising secara psikologis.

Di samping pengendalian pada cahaya, silau dan panas matahari, kain-kain fenestrasi (fenestration fabrics) dan bahan gorden juga menunjang penyerapan bunyi. Makin berat kainnya, makin banyak penyerapan bunyi (Gambar 5.9). Makin lebar ruang udara antara gorden dan dinding belakangnya penyerapan frekuensi rendah makin bertambah, dan hal ini sangat menguntungkan.

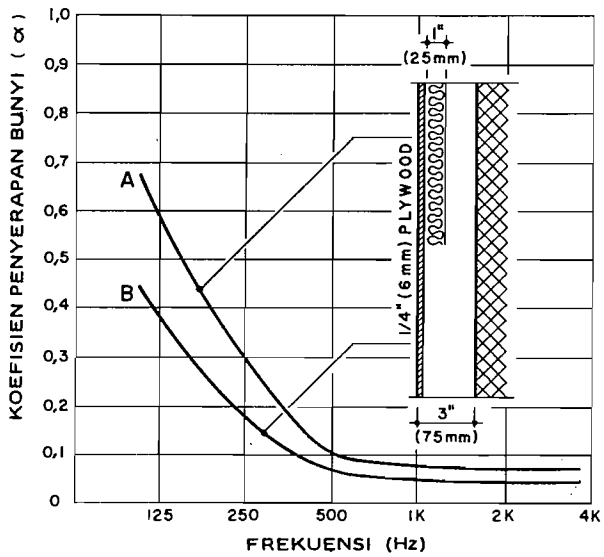
5.2 Penyerap Panel (atau Selaput)

Penyerap panel atau *selaput* yang tak dilubangi mewakili kelompok bahan-bahan penyerap bunyi yang kedua. Tiap bahan kedap yang dipasang pada lapisan penunjang yang padat (solid backing) tetapi terpisah oleh suatu ruang udara akan berfungsi sebagai penyerap panel dan akan bergetar bila tertumbuk oleh gelombang bunyi. Getaran lentur (flexural) dari panel akan menyerap sejumlah energi bunyi datang dengan mengubahnya menjadi energi panas.

Panel jenis ini merupakan penyerap frekuensi rendah yang efisien. Bila dipilih dengan benar, penyerap panel mengimbangi penyerapan frekuensi sedang dan tinggi yang agak berlebihan oleh penyerap-penyerap berpori dan isi ruang. Jadi, penyerap panel menyebabkan karakteristik dengung yang serba sama pada seluruh jangkauan frekuensi audio. Gambar 5.10 menunjukkan karakteristik penyerapan-frekuensi suatu panel plywood ¼ inci (6 mm) dengan rongga 3 inci (75 mm) dari dinding, dengan dan tanpa penyerap berpori dalam rongga udara tersebut. Dengan menggunakan penyerap berpori dalam rongga udara, penyerap pada frekuensi rendah bertambah, hingga memperlebar daerah pertambahan penyerapan yang semula sempit.

Di antara lapisan-lapisan dan konstruksi auditorium penyerap-penyerap panel berikut ini berperan pada penyerapan frekuensi rendah: panel kayu dan hardboard, gypsum boards, langit-langit plesteran yang digantung, plesteran berbulu, plastic board tegar, jendela, kaca, pintu, lantai kayu dan panggung, dan pelat-pelat logam (radiator). Karena pertambahan terhadap daya tahan dan goresan, penyerap-penyerap panel tak berlubang ini sering dipasang pada bagian bawah dinding-dinding, dengan demikian menyediakan lapisan permukaan yang cocok untuk suatu dado.

Bahan-bahan berpori yang diberi jarak dari lapisan penunjangnya yang padat juga berfungsi sebagai penyerap panel yang bergetar, dan terutama menunjang penyerapan pada frekuensi rendah, seperti terlihat dalam Gambar 5.3 dan 5.7.



Gambar 5.10 Penyerapan bunyi panel plywood ¼ inci (6 mm) dengan jarak pisah 3 inci (75 mm) dari dinding, dengan dan tanpa selimut isolasi dalam rongga udara.

5.3 Resonator Rongga (atau Helmholtz)

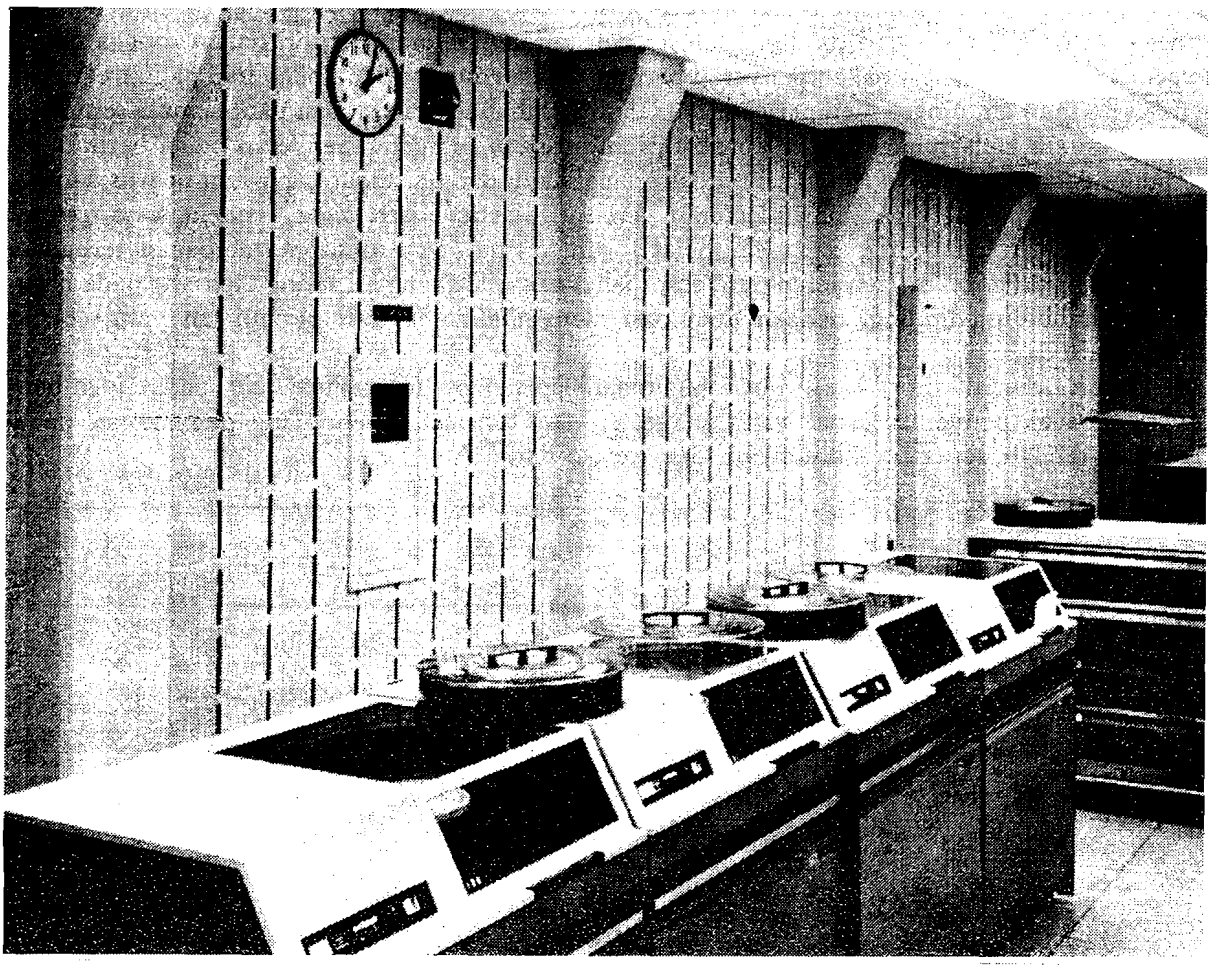
Resonator rongga (atau *Helmholtz*), kelompok penyerap bunyi yang ketiga dan terakhir, terdiri dari sejumlah udara tertutup yang dibatasi oleh dinding-dinding tegar dan dihubungkan oleh lubang/celah sempit (disebut *leher*) ke ruang sekitarnya, di mana gelombang bunyi merambat.

Resonator rongga menyerap energi bunyi maksimum pada daerah pita frekuensi rendah yang sempit. Suatu poci atau botol kosong, seperti yang digambarkan dalam Paragraf 4.6, juga berfungsi sebagai resonator rongga; namun penyerapannya yang maksimum terbatas pada pita frekuensi yang sempit; artinya resonator ini sangat selektif dalam penyerapannya.

Resonator rongga dapat digunakan (1) sebagai unit individual, (2) sebagai resonator panel berlubang, dan (3) sebagai resonator celah.

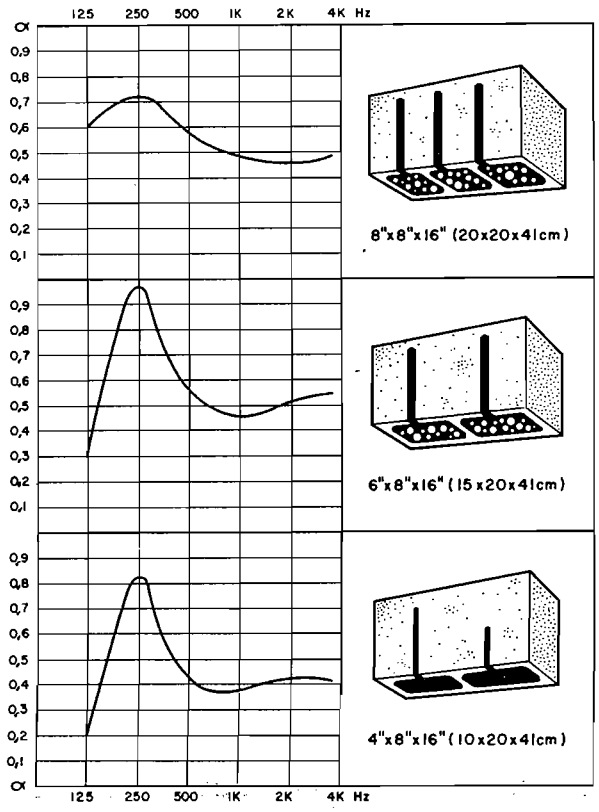
5.3.1 **Resonator Rongga Individual** Resonator rongga individual yang dibuat dari tabung tanah liat kosong dengan ukuran-ukuran berbeda digunakan di gereja-gereja Skandinavia pada abad pertengahan. Penyerapannya yang efektif tersebar antara 100 dan 400 Hz.

Balok beton standar yang menggunakan campuran yang biasa tetapi dengan rongga yang telah ditetapkan, disebut unit Soundblox, merupakan jenis resonator berongga jaman sekarang. Karena mereka meniadakan kebutuhan akan pemasangan lapisan permukaan penyerap bunyi tambahan, maka mereka merupakan sarana pengendali dengung atau bising yang ekonomis (Gambar 5.11). Balok dicor dalam dua seri, disebut tipe A dan tipe B. Unit tipe A mempunyai celah sekitar ¼ inci (6 mm) dan elemen pengisi yang tak mudah terbakar dalam rongganya.



Gambar 5.11 Unit Soundbox (balok beton yang disusun berderet) yang digunakan untuk pengendalian dengung di suatu pusat komputer, Kansas City, Mo, Radotinsky-Deardorff and Associates, architects. (Foto oleh P.D. Steffee)

Dalam kedua tipe ini, rongga tertutup di atasnya, dan celah memungkinkan rongga tertutup tersebut berfungsi sebagai resonator Helmholtz. Balok dibuat dengan ketebalan 4, 6, dan 8 inci (10, 15, dan 20 cm), semuanya mempunyai ukuran muka nominal 8 kali 16 inci (20 kali 41 cm). Penyerapan bunyi maksimum terjadi pada frekuensi rendah, dan berkurang pada frekuensi yang lebih tinggi (Gambar 5.12). Bagian permukaan balok yang kelihatan dapat dicat, dengan pengaruh pada penyerapannya yang dapat diabaikan. Keuntungannya yang besar terletak pada daya tahannya yang tinggi, yang memungkinkannya digunakan dalam ruang olahraga, kolam renang, jalur-jalur bowling, proyek industri, ruang alat-alat mekanis, terminal kendaraan, dan jalan raya yang padat, di mana penggunaan bahan-bahan penyerap bunyi biasa yang lembut, artinya tidak tahan lama tidak memungkinkan.

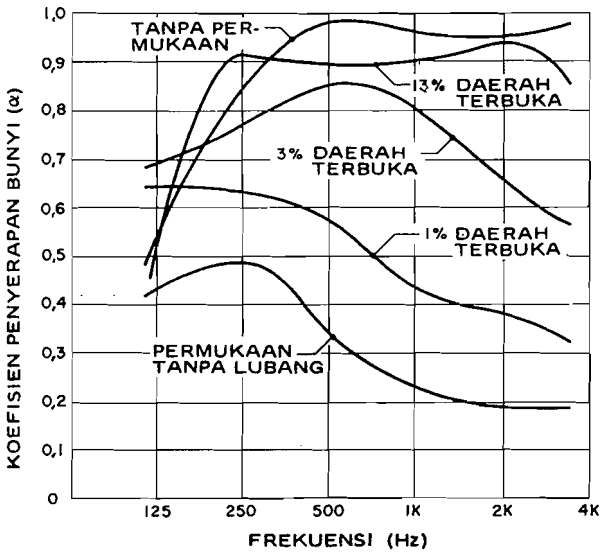


Gambar 5.12 Unit Soundblox umum yang digunakan sebagai resonator rongga individual.

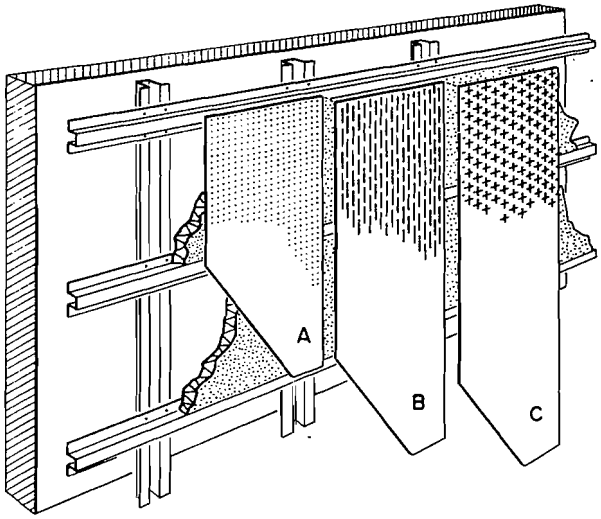
5.3.2 **Resonator Panel Berlubang** Panel berlubang, yang diberi jarak pisah terhadap lapisan penjunjang padat, banyak digunakan dalam aplikasi prinsip resonator rongga. Mereka mempunyai jumlah leher yang banyak, yang membentuk lubang-lubang panel, jadi berfungsi sebagai deretan resonator rongga. Lubang biasanya berbentuk lingkaran (kadang-kadang celah pipih). Rongga udara di belakang lubang membentuk bagian resonator yang tak terbagi, dan dipisahkan ke dalam lekukan oleh elemen-elemen sistem kerangka yang horizontal dan vertikal.

Resonator panel berlubang tidak melakukan penyerapan selektif seperti pada resonator rongga tunggal, terutama bila selimut isolasi dipasang di rongga udara di belakang papan berlubang yang tampak (Gambar 5.13). Bila panel berlubang dipilih dengan tepat, dengan daerah terbuka yang cukup (disebut *tembusan bunyi*), selimut isolasi menambah efisiensi penyerapan keseluruhan dengan memperlebar daerah frekuensi di mana penyerapan yang cukup besar dapat diharapkan (Gambar 5.14).

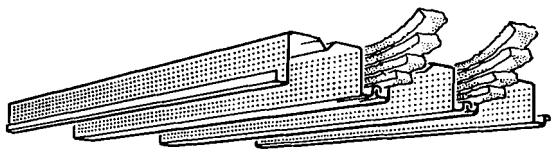
Kurva penyerapan-frekuensi resonator panel berlubang umumnya menunjukkan suatu nilai maksimum (puncak) di daerah skala frekuensi tengah dengan penurunan yang jelas di atas 1000 Hz. Karena itu, bila lapisan panel berlubang yang sama digunakan secara besar-besaran dalam auditorium, RT akan menjadi sangat kecil dan tak diinginkan pada frekuensi nilai penyerapan puncak. Karakteristik dengung yang cukup seimbang dan merata dapat di-



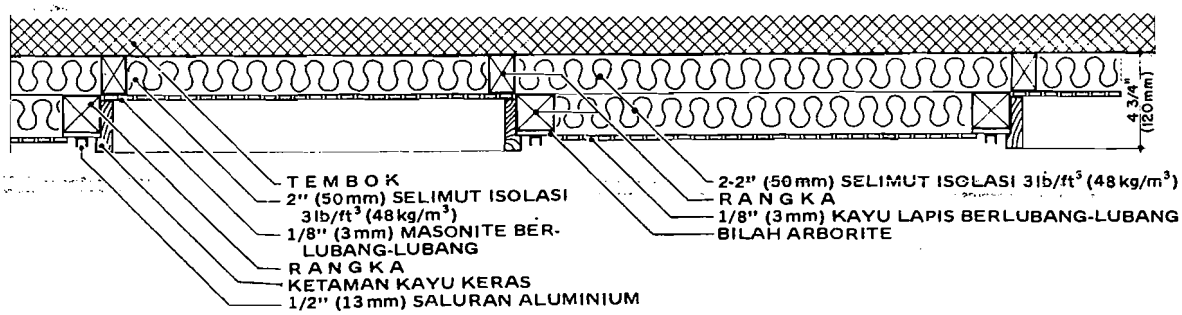
Gambar 5.14 Penyerapan bunyi resonator panel berlubang dengan selimut isolasi dalam rongga udara. Daerah yang terbuka (jalan tembus bunyi) permukaan berlubang mempunyai pengaruh yang besar pada penyerapan.



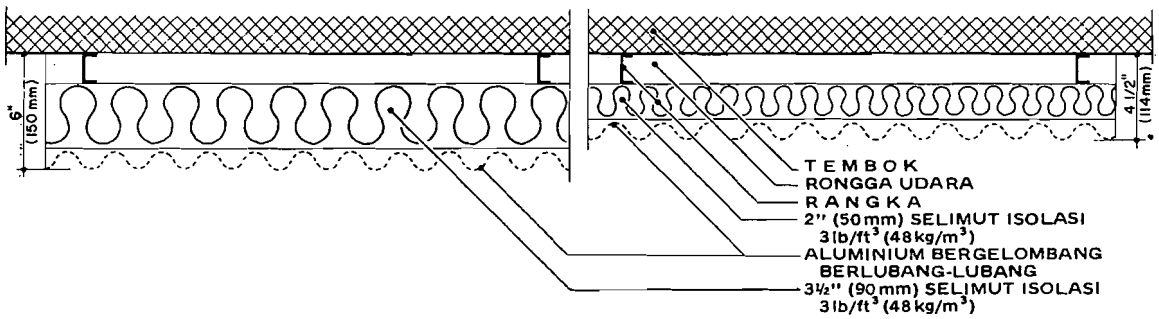
Gambar 5.13 Pemasangan resonator panel berlubang tertentu yang menggunakan bermacam-macam bentuk lubang dan dengan selimut isolasi dalam rongga udara: (A) papan berlubang; (B) hardboard bercelah/di iris-iris; (C) logam atau plastik berlubang.



Gambar 5.15 Bungkus baja akustik, dapat diperoleh dengan ukuran berbeda-beda, dengan rapat massa selimut serat gelas 1,1 lb per ft kubik (18 kg per meter kubik) dalam jaringan bingkai berlubang, membuat resonator panel berlubang yang efisien. Mereka menyediakan penyerapan yang cukup merata pada jangkauan frekuensi standar.



LITTLE THEATER ACADEMIE DE QUEBEC AMYOT VAGI ARSITEK



VERSAILLES THEATERS MONTREAL ELIASOPH BERKOWITZ ARSITEK.

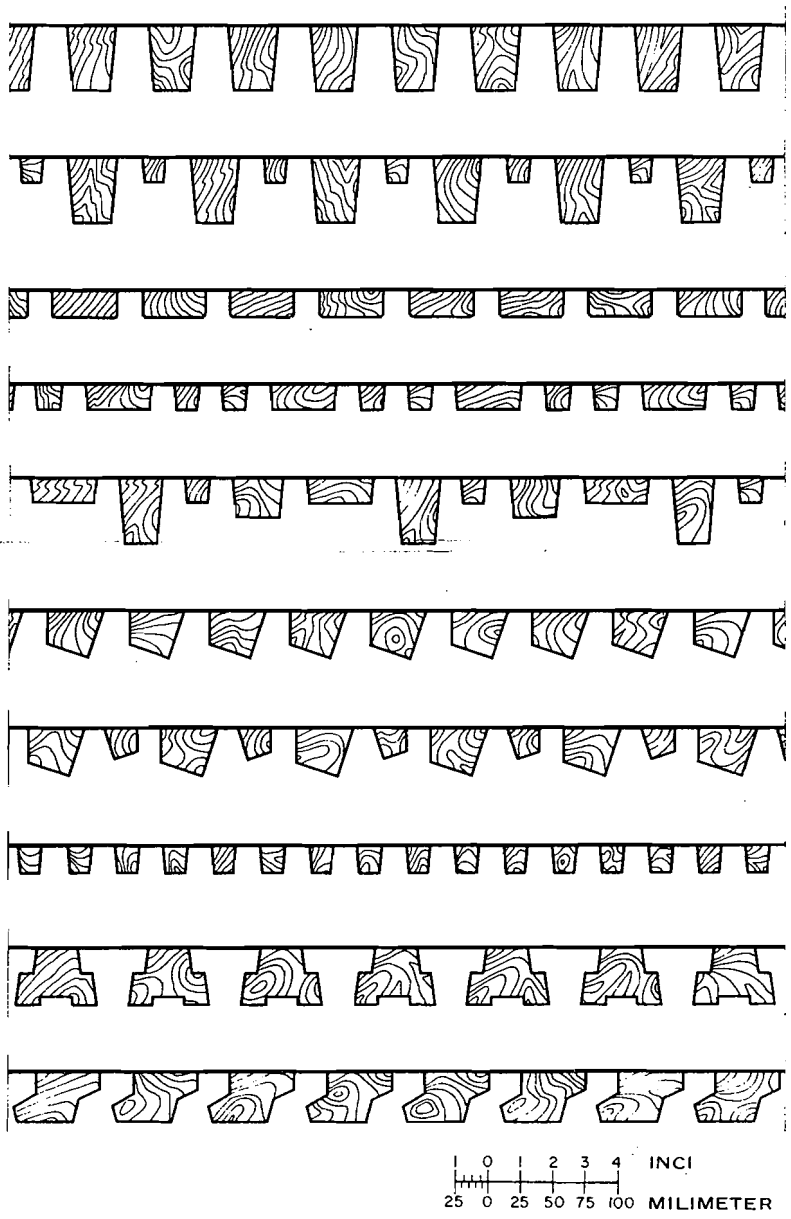
Gambar 5.16 Resonator panel berlubang yang digunakan di berbagai auditorium. (L.L. Doelle, konsultan akustik.)

adakan bila nilai-nilai puncak dalam diagram lapisan panel berlubang digeser ke beberapa daerah jangkauan frekuensi yang berbeda. Ini dapat dicapai dengan mengubah tebal panel berlubang; ukuran dan jarak antar lubang-lubang; ke dalam rongga udara di belakang panel berlubang; dan jarak pisah antara elemen-elemen sistem bulu (furring system).

Bermacam-macam panel atau papan standar yang komersial dapat diperoleh dalam bentuk berlubang, dan cocok dalam penggunaan penyerap panel berlubang, seperti lembaran asbestos semen; hardboard (Masonite); lembaran baja atau aluminum polos, bergelombang dan lebar (Gambar 5.15); lembaran plastik tegar dan panel kayu dan plywood; panel serat gelas yang dicor, dan lembaran baja berlapis plastik. Pelapisan permukaan panel berlubang yang tampak harus menghindari penyumbatan lubang-lubang oleh cat.

Gambar 5.16 menunjukkan contoh-contoh resonator panel berlubang yang digunakan sebagai lapisan akustik dalam bermacam-macam auditorium.

5.3.3 Resonator Celah Dalam merancang auditorium pengaruh akustik yang diinginkan sering dapat dicapai/diperoleh dengan menggunakan selimut isolasi yang relatif tidak mahal, sepanjang permukaan-permukaan ruang. Namun, karena porositasnya, selimut isolasi membutuhkan perlindungan terhadap goresan-goresan. Ini memberikan suatu kesempatan pada arsitek

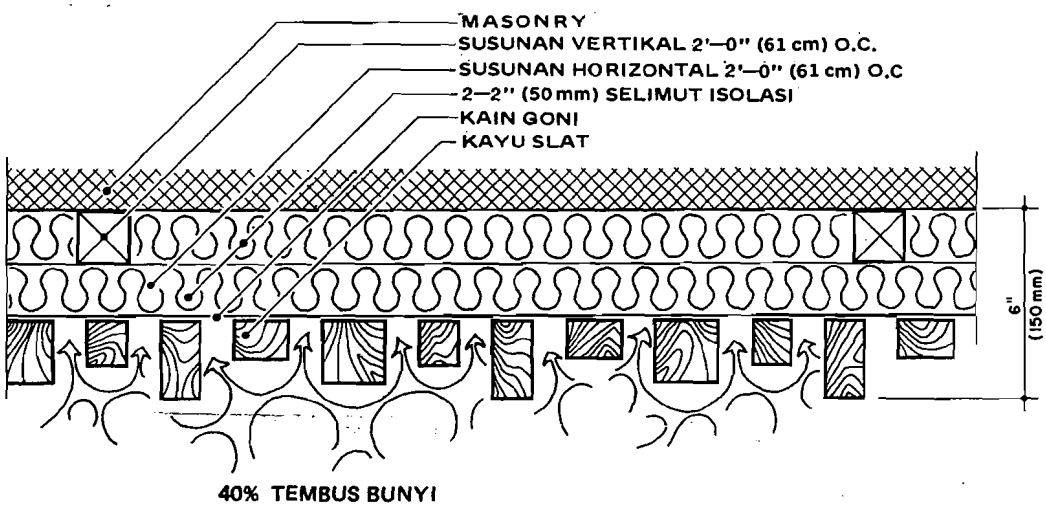


Gambar 5.17 Deretan rusuk kayu yang bergantian, yang cocok untuk melindungi selimut isolasi yang relatif lunak, yang dipasang pada rongga-rongga penyerap resonator celah.

untuk merancang suatu lapisan permukaan atau layar perlindungan yang dekoratif, dengan elemen-elemen yang penampangnya relatif kecil dan dengan jarak antara yang cukup untuk memungkinkan gelombang bunyi menembus antara elemen-elemen layar ke bagian belakangnya yang berpori (Gambar 5.17). Layar pelindung dapat terdiri dari sistem kayu, logam atau rusuk plastik tegar, balok atau bata rongga, dengan deretan lubang, celah atau petak (slot) yang dapat dilihat. Layar pelindung, dengan elemen-elemen berjarak pisah yang cukup dan selimut isolasi dibelakangnya, membentuk penyerap resonator celah. Ia bekerja seperti resonator panel berlubang dalam arti bahwa ia juga mempunyai rongga di belakang leher dan berbentuk celah yang terjadi oleh elemen-elemen layar yang berjarak pisah. Seluruh daerah terbuka antara elemen-elemen, disebut tembusan bunyi, harus meliputi paling sedikit 35 persen dari daerah lapisan akustik total (Gambar 5.18 dan 5.19).

Ketenaran resonator celah dalam pengendalian akustik suatu auditorium disebabkan banyaknya pilihan yang disediakan untuk rancangan individual, walaupun mereka lebih mahal daripada jenis komersial, yang kadang-kadang merupakan bahan akustik standar yang itu-itu juga. Gambar 5.20 sampai 5.22 menunjukkan contoh-contoh tambahan penyerap resonator celah, yang menggunakan bata berongga, balok beton berongga khusus dan rusuk (slat) kayu dan baja.

Beberapa penyerap resonator celah siap-pakai yang ada di pasaran menawarkan harga yang wajar dan mempunyai lapisan permukaan yang menyenangkan (Dampa, Luxalon, dan Linear-Plan).

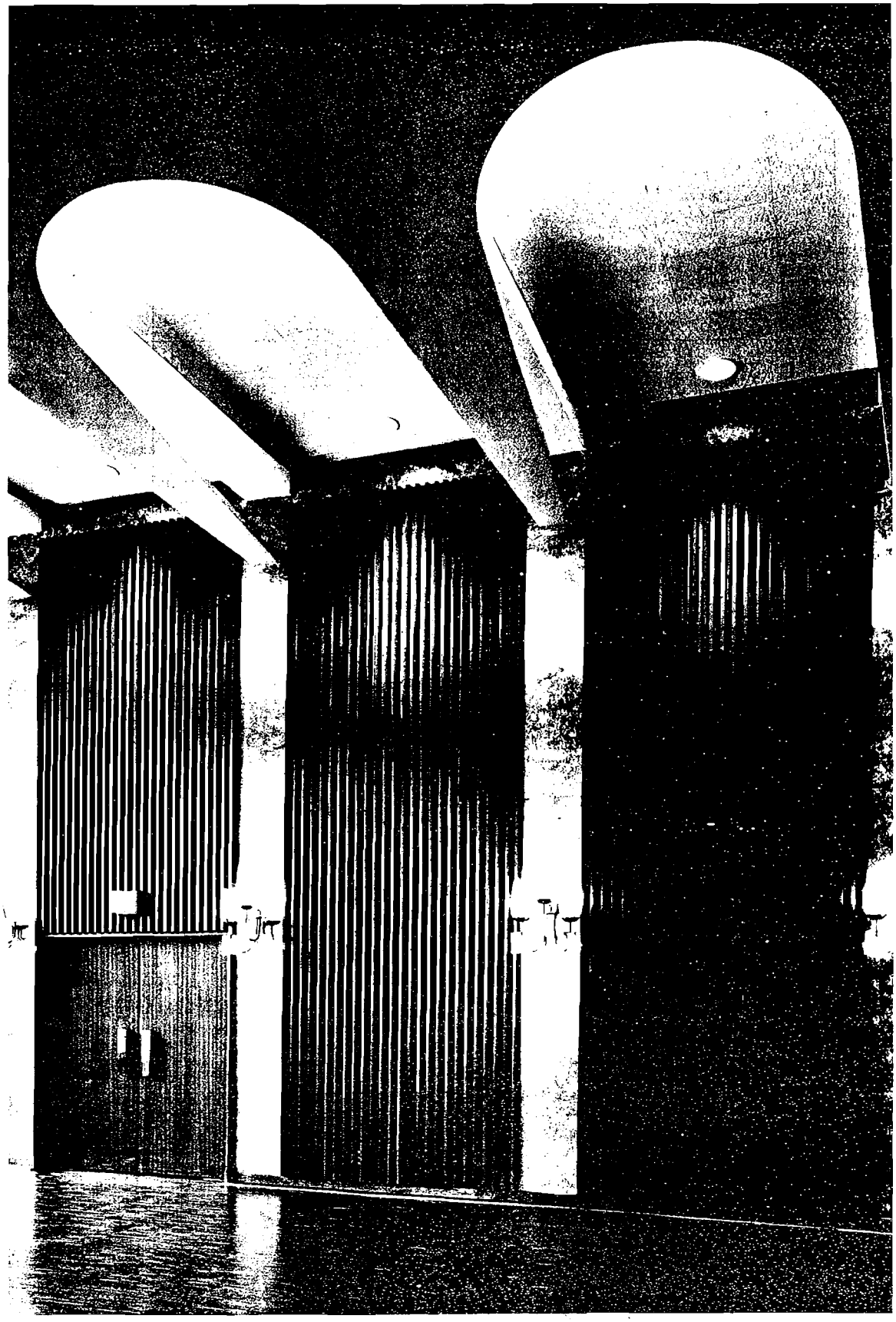


Gambar 5.18 Lapisan akustik irisan kayu yang digunakan sebagai penyerap resonator celah dalam ruang kuliah, Universite Laval, Quebec dengan 250 tempat duduk. Tembus bunyi 40% menyebabkan penembusan gelombang bunyi yang cukup antara irisan-irisan untuk mencapai selimut isolasi. (Gauthier and Guite, architects; L.L. Doelle, konsultan akustik).

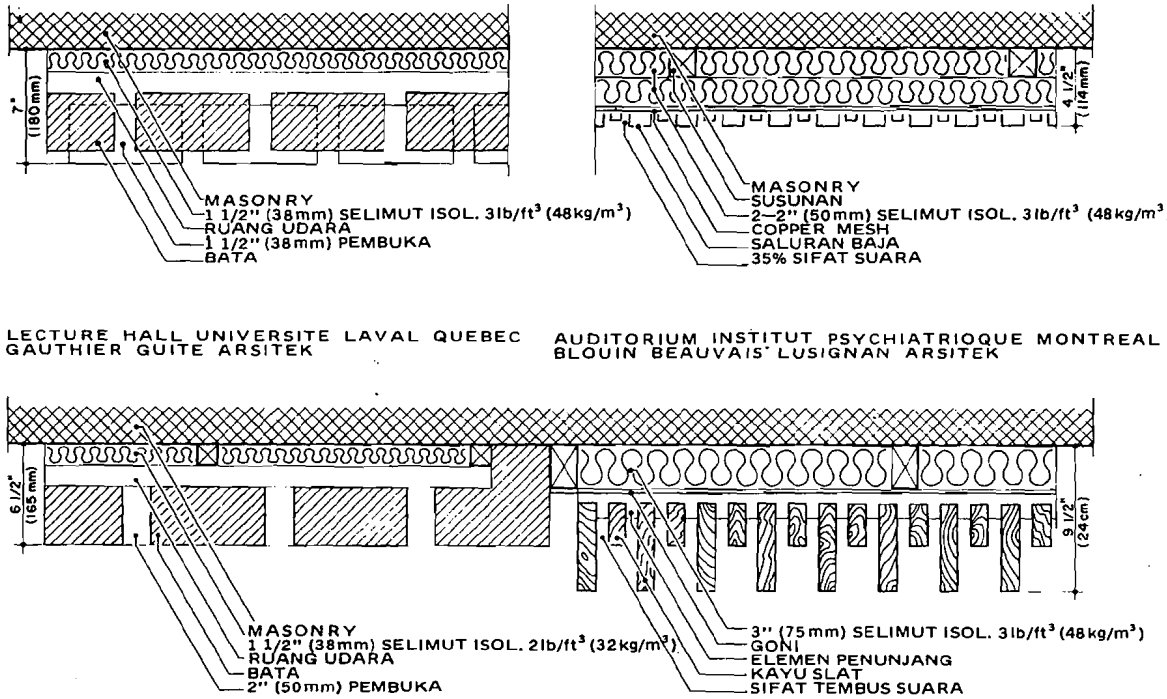
5.4 Penyerap Ruang

Bila dinding-dinding batas yang biasa dalam auditorium tidak menyediakan tempat yang cocok atau cukup untuk lapisan akustik konvensional, benda-benda penyerap bunyi, yang disebut *penyerap ruang* atau *penyerap fungsional,* dapat digantungkan pada langit-langit sebagai unit tersendiri.

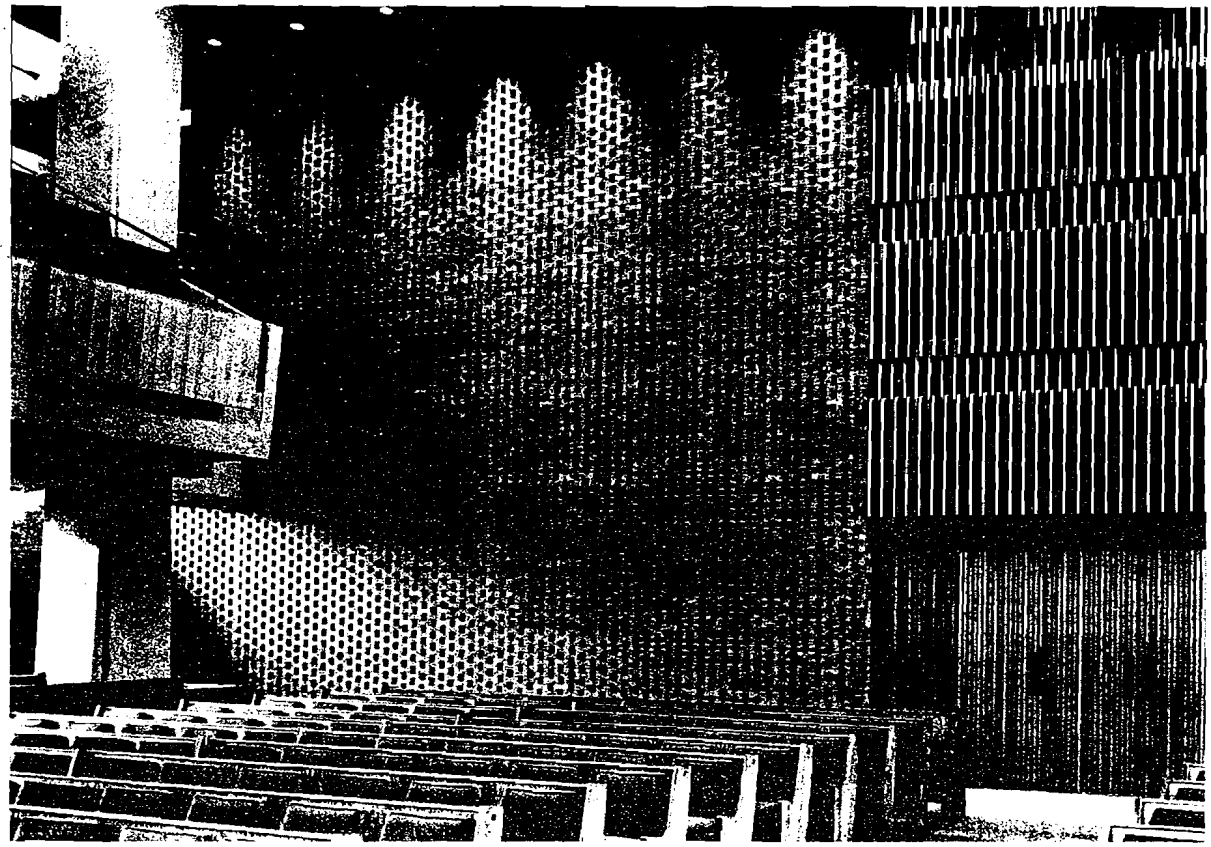
Mereka mudah dipasang atau dipindahkan tanpa mengganggu peralatan atau perlengkapan yang telah ada. Karena gelombang bunyi akan menumbuk semua sisi penyerap-penyerap ini, penyerapannya cukup besar (powerful) dibandingkan dengan bahan-bahan akustik komersial standar. Keistimewaan ini membuat penyerap ruang suatu sarana yang sangat cocok untuk daerah-daerah industri yang bising.



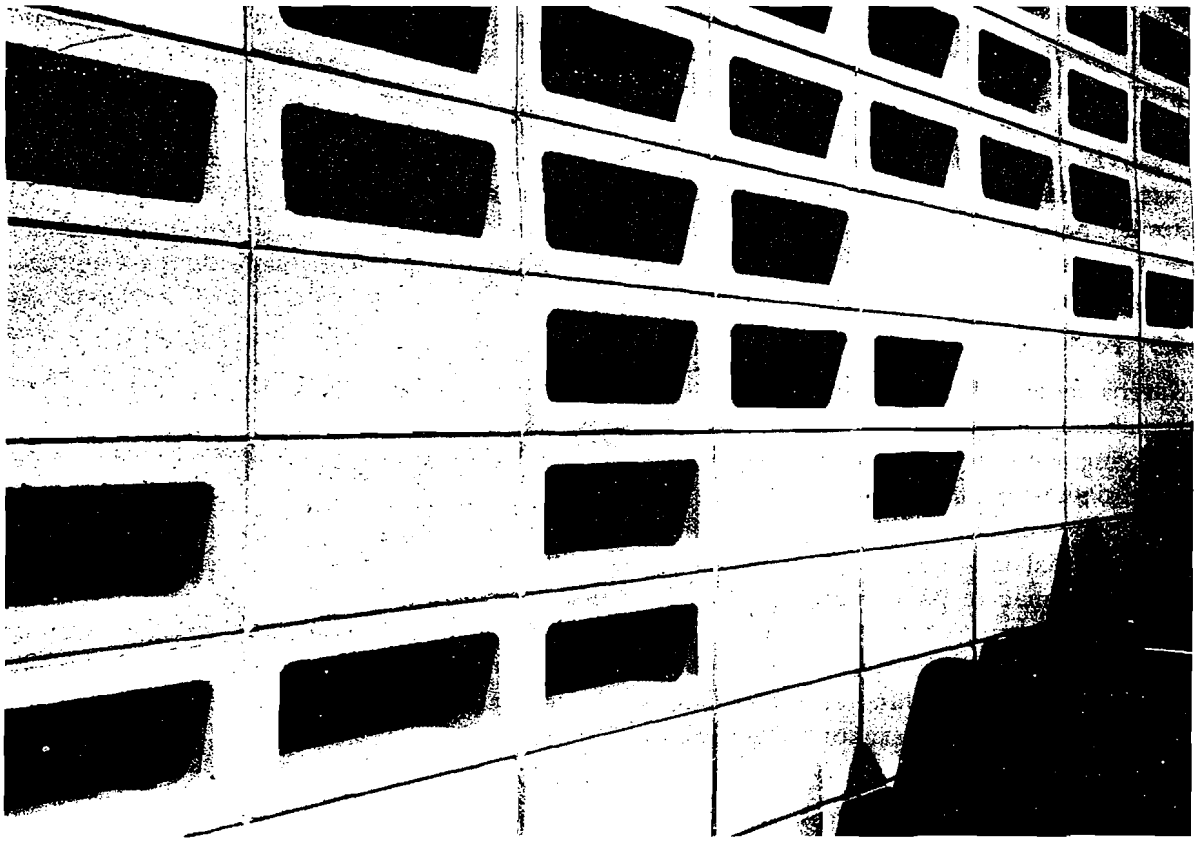
Gambar 5.19 Lapisan galar/irisan kayu di auditorium serbaguna, Montreal. Eliasoph dan Berkowitz, arsitek; L. L. Doelle, konsultan akustik. (Foto oleh Bowe Studio.)



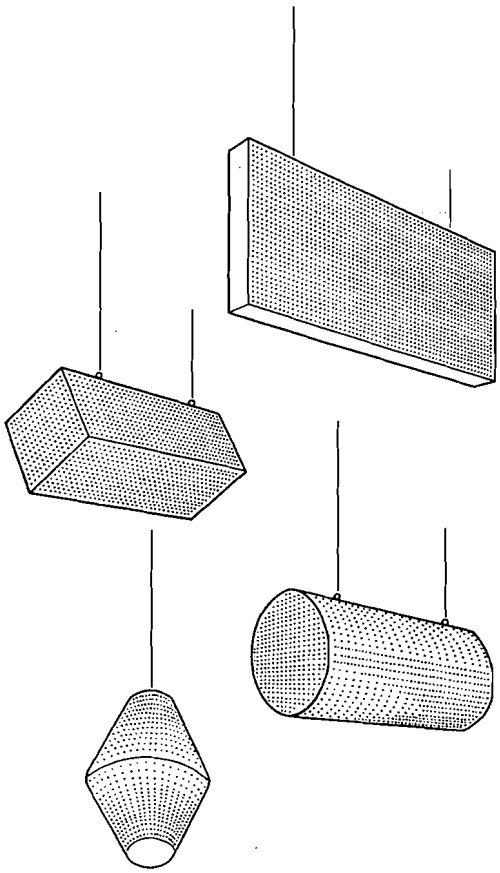
Gambar 5.20 Penyerap resonator celah yang digunakan sebagai lapisan akustik di berbagai auditorium. (L.L. Doelle, konsultan akustik).



Gambar 5.21 Gambar lapisan akustik dengan batu bata terbuka dan galar kayu yang diperinci di Gambar 5.20. (Foto oleh Bowe Studio.)



Gambar 5.22 Balok beton berongga, digunakan sebagai penyerap resonator celah di auditorium sekolah menengah dengan 700 tempat duduk, Quebec. (Lemay, Leclerc, and Trahan, architects; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Bowe Studio.)



Gambar 5.23 Penyerap ruang yang dapat digantung pada langit-langit sebagai unit individual. Mereka digunakan bila luas permukaan ruang tidak cukup untuk lapisan akustik konvensional.

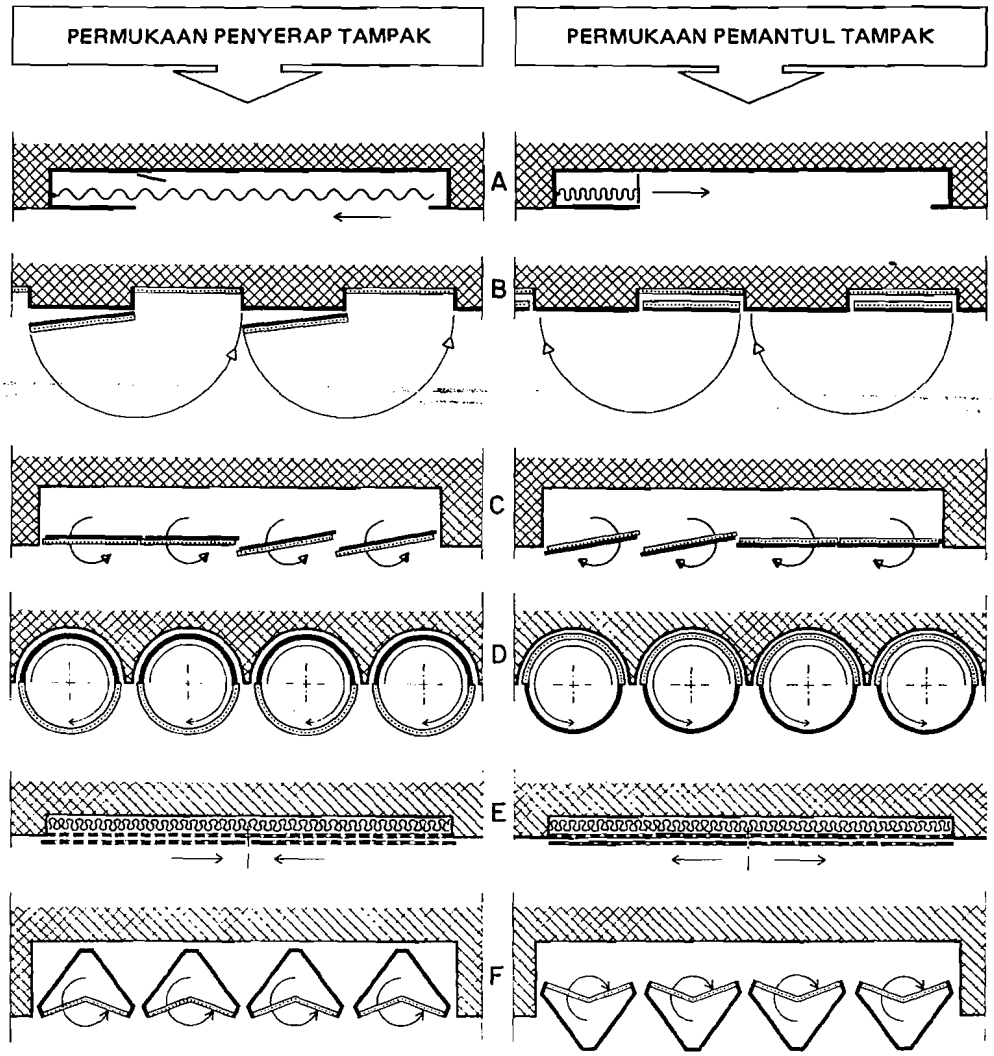
Penyerap ruang dibuat dari lembaran-lembaran berlubang (baja, aluminum, hardboard, dan lain-lain) dalam bentuk panel, prisma, kubus, bola, silinder, atau kulit kerucut tunggal atau ganda dan umumnya diisi atau ditutup dengan bahan penyerap bunyi seperti rock wool, glass wool dan lain-lain (Gambar 5.23).

Penyerapan bunyi penyerap ruang dinyatakan sebagai jumlah sabin yang disediakan per satuan penyerap. Efisiensi akustiknya tergantung pada jarak antaranya. Untuk mendapatkan jumlah penyerapan ruang yang cukup, penyerap ruang yang banyak perlu ditempatkan dalam ruang. Distribusinya membutuhkan koordinasi yang baik dengan penempatan lampu-lampu.

5.5 Penyerap Variabel

Karena seperti akan terlihat kemudian, auditorium yang sama digunakan untuk hal yang berbeda-beda, sehingga dibutuhkan bermacam-macam RT maka sejak lama arsitek dan ahli akustik berkeinginan merancang konstruksi penyerap bunyi khusus yang dapat mengubah RT, yaitu kondisi akustik dalam ruang.

Beberapa usaha untuk memperoleh hal tersebut telah dilakukan di masa-masa yang lalu, terutama dalam studio radio, di mana perubahan RT yang besar diperlukan. Untuk maksud ini bermacam-macam panel yang dapat digeser, berengsel, dapat dipindah-pindah dan dapat diputar dikonstruksi. Panel semacam ini dapat menampilkan permukaan penyerap maupun permukaan pemantul. Tirai yang dipasang dapat dibentang di atas dinding atau digulung kembali dalam kantong yang cocok, jadi secara bergantian menambah atau mengurangi lapisan penyerap efektif dalam suatu ruang (Gambar 5.24).



Gambar 5.24 Skema penyerap variabel yang menyediakan sarana untuk mengubah penyerapan jadi juga RT: (A) Tirai yang dapat digulung; (B) panel berengsel; (C) panel yang dapat berputar; (D) silinder yang dapat diputar; (E) panel berlubang yang dapat bergeser; (F) elemen segitiga yang dapat berputar.

Konstruksi penyerap variabel semacam itu hanya dibenarkan bila ia mampu menghasilkan perubahan yang cukup besar (paling sedikit 20 persen) pada penyerapan total di daerah jangkauan frekuensi audio yang cukup luas.

Percobaan membuktikan bahwa alat-alat yang menghasilkan penyerapan yang berubah hanya praktis untuk ruang-ruang yang secara terus-menerus dirawat dan diperbaiki oleh pegawai yang mampu/ahli, seperti halnya dalam studio radio dan studio rekaman. Namun, nampaknya bahkan dalam studio pun pengendalian RT lewat penyerap variabel yang konvensional akan segera dianggap kuno sehubungan dengan pemakaian pengendali dengung secara elektronik yang berkembang sangat luas. Pembahasan masalah pengendalian dengung secara elektronik ada di luar lingkup buku ini.

5.6 Penyerapan oleh Udara

Telah disebutkan di bagian muka bahwa di samping macam-macam lapisan permukaan akustik dan isi ruang, penyerapan udara juga menunjang keseluruhan penyerapan ruang. Penyerapan oleh udara dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban udara dan hanya menghasilkan nilai yang berarti pada dan di atas frekuensi 1000 Hz. Nilai koefisien penyerapan udara diberikan dalam Apendiks Tabel A.1.

5.7 Penyerapan Bunyi oleh Lubang

Dalam menghitung RT auditorium, bermacam-macam lubang, seperti misalnya lorong yang melengkung (archway), kisi-kisi untuk udara (air grilles) yang ke luar/masuk, lubang langit-langit (ceiling slots), balkon atau kotak-kotak yang sangat dalam, bukaan prosenium, juga menentukan, kadang-kadang cukup banyak, keseluruhan penyerapan bunyi dalam ruang. Karena koefisien penyerapan bunyi yang berhubungan dengan lubang-lubang ini jarang diikutkan dalam tabel-tabel yang digunakan untuk perhitungan, maka arsitek harus mempertimbangkan sendiri nilai-nilai penyerapan realistik benda-benda tersebut.

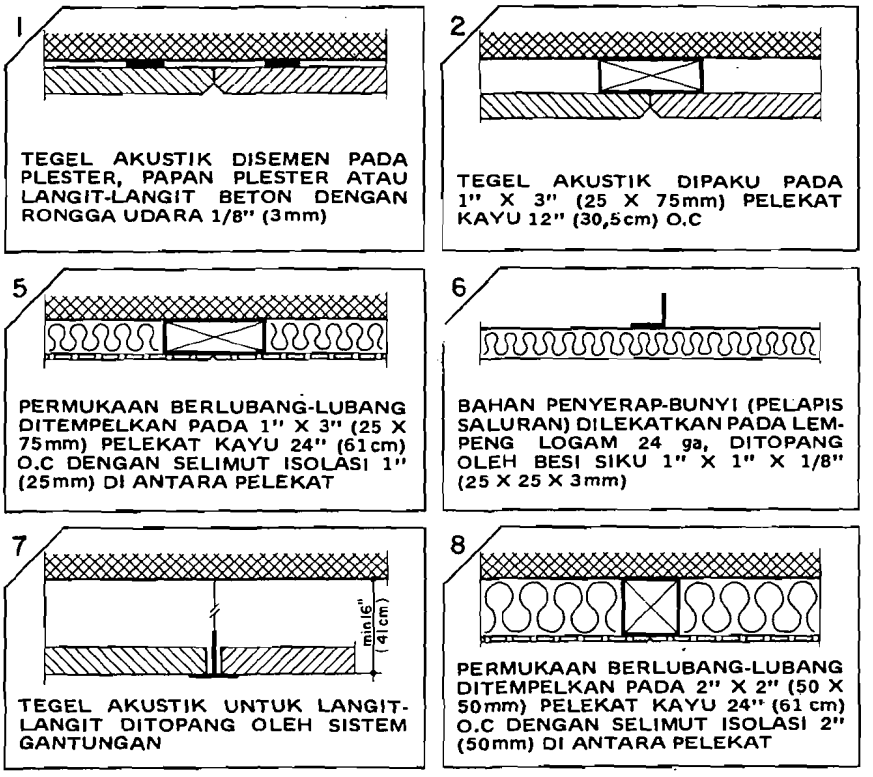
5.8 Pemasangan dan Distribusi Bahan-bahan Penyerap

Karakteristik penyerapan bunyi tidak boleh dianggap seperti sifat intrinsik bahan-bahan akustik, tetapi sebagai suatu segi yang sangat tergantung pada sifat-sifat fisik, detail pemasangan dan kondisi lokal. Karena cara pemasangan bahan akustik mempunyai pengaruh yang besar pada sifat-sifat penyerapan, pembandingan antara koefisien penyerapan bahan yang berbeda harus didasarkan pada data-data yang diperoleh dari percobaan yang diadakan di laboratorium yang diakui, dengan kondisi pemasangan yang identik. Beberapa cara pemasangan yang digunakan dalam melakukan percobaan penyerapan bunyi yang distandardisasi oleh The Acoustical and Insulating Material Association ditunjukkan dalam Gambar 5.25.

Tidak ada tipe cara pemasangan tertentu yang dapat dikatakan sebagai optimum untuk tiap pemasangan. Bermacam-macam perincian yang harus diperhatikan secara serentak adalah sebagai berikut:

1. Sifat-sifat fisik bahan akustik.
2. Kekuatan, susunan (texture) permukaan, dan lokasi dinding-dinding ruang di mana bahan akustik akan dipasang.
3. Ruang yang tersedia untuk lapisan permukaan tersebut.
4. Waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan itu.
5. Kemungkinan penggantiannya dalam waktu-waktu yang akan datang.
6. Biaya, dan lain-lain.

Cara pemasangan untuk instalasi pada konstruksi baru pada dasarnya berbeda dengan hal-hal yang dapat dilakukan dalam bangunan yang sudah ada. Lapisan-lapisan akustik harus didistribusikan pada dinding-dinding ruang seuniform mungkin.



Gambar 5.25 Jenis pemasangan standar untuk instalasi bahan-bahan akustik yang diperdagangkan yang digunakan dalam melakukan percobaan penyerapan bunyi yang distandardisasi oleh Acoustical and Insulating Materials Association. Pemasangan yang berhubungan dengan nomor-nomor yang hilang (3 dan 4) jarang digunakan di akustik arsitektural.

5.9 Pemilihan Bahan Penyerap Bunyi

Karena bahan-bahan akustik arsitektur dimaksudkan untuk mengkombinasi fungsi penyerapan bunyi dan penyelesaian interior, jelaslah bahwa dalam pemilihan lapisan akustik sejumlah pertimbangan di luar segi akustik juga harus diperhatikan.

Bila tujuan utama adalah mencapai RT yang merata dalam seluruh jangkauan frekuensi audio, lapisan-lapisan permukaan harus dipilih yang menghasilkan karakteristik penyerapan yang merata (tidak perlu tinggi) pada jangkauan frekuensi audio. Jika pemakaian penyerap frekuensi tengah dan tinggi lebih disukai (resonator panel berlubang atau penyerap resonator celah), maka penyerapan frekuensi tengah dan tinggi yang agak besar dapat diimbangi dengan pemasangan penyerap panel frekuensi rendah dalam jumlah yang cukup. Jika secara akustik pemantulan berulang yang merusak (gema, pemantulan di sudut-sudut yang terlampau berkepanjangan) harus dihilangkan atau diabaikan, maka permukaan-permukaan pemantul yang berbahaya harus dilapisi dengan bahan-bahan akustik yang bersifat sangat menyerap.

Perincian berikut ini harus diperiksa dalam pemilihan lapisan-lapisan atau konstruksi penyerap bunyi:

1. Koefisien penyerapan bunyi pada frekuensi-frekuensi wakil jangkauan frekuensi audio.
2. Penampilan (ukuran, tepi, sambungan, warna, jaringan).
3. Daya tahan terhadap kebakaran dan hambatan terhadap penyebaran api.
4. Biaya instalasi.
5. Kemudahan instalasi.
6. Keawetan (daya tahan terhadap tumbukan, luka-luka mekanis dan goresan).
7. Pemantulan cahaya.
8. Perawatan, pembersihan, pengaruh dekorasi kembali pada penyerapan bunyi dan biaya perawatan.
9. Kondisi pekerjaan (temperatur, kelembaban selama instalasi dan kesiapan lapisan penunjang dibelakangnya).
10. Kesatuan elemen-elemen ruang (pintu, jendela, lampu-lampu penerangan, kisi-kisi, radiator dan sebagainya) dengan lapisan-lapisan akustik.

11. Ketebalan dan berat.
12. Tahanan terhadap uap lembab dan kondensasi bila ruang digunakan.
13. Kemungkinan adanya langit-langit gantung atau ruang-ruang diisi lapisan pengisi.
14. Nilai insulasi termis.
15. Daya tarik terhadap kutu (vermin), kutu busuk (dry rot), jamur.
16. Kemungkinan penggantiannya (kadang-kadang suatu kebutuhan sementara untuk memungkinkan pengaturan selimut isolasi).
17. Kebutuhan serentak akan insulasi bunyi yang cukup (dalam hal langit-langit gantung dan dinding-dinding luar).

Apendiks Tabel A.1, yang memuat koefisien penyerapan bunyi bahan-bahan bangunan biasa, bahan-bahan akustik dan isi ruang (penonton, tempat duduk dan lain-lain), akan berguna dalam melakukan perhitungan RT sederhana.

5.10 Pengukuran Penyerapan Bunyi

Bermacam-macam cara pengukuran koefisien penyerapan bunyi bahan-bahan akustik dibahas dengan panjang lebar dalam kepustakaan akustik. Dua metoda yang menarik adalah metoda tabung dan metoda ruang dengung.

5.10.1 **Metoda Tabung** Metoda ini digunakan untuk mengukur koefisien penyerapan bunyi contoh-contoh (sample) bahan akustik yang kecil dan gelombang bunyi merambat tegaklurus pada permukaan contoh bahan tadi. Pengukuran akan menunjukkan penyerapan bunyi dalam jangkauan frekuensi sekitar 200 sampai 3000 Hz.

Metoda ini tidak tepat untuk keseluruhan pengukuran koefisien penyerapan bunyi karena pembatasan-pembatasannya. Metoda ini mengabaikan kenyataan bahwa gelombang bunyi dalam ruang menumbuk bahan penyerap bunyi dari berbagai sudut, dan selanjutnya ukuran dan cara pemasangan contoh percobaan tidak sama dengan kondisi pekerjaan sesungguhnya. Karena alasan-alasan ini, hasil yang diperoleh dengan metoda tabung harus digunakan untuk pekerjaan teoritik, untuk pengembangan bahan-bahan akustik baru atau untuk membandingkan bahan-bahan yang ada dan juga untuk pengendalian kualitas.

5.10.2 **Metoda Ruang Dengung** Metoda ini menggunakan ruang kosong dengan RT yang panjang. Satu contoh besar atau beberapa contoh bahan penyerap bunyi, dipasang dalam ruang, dengan demikian mengurangi RT-nya. Koefisien penyerapan bunyi bahan lalu dihitung dari pengurangan RT ruang, yang terjadi karena adanya contoh bahan penyerap bunyi.

Ukuran contoh percobaan dapat berkisar dari 60 sampai 100 ft persegi (5,6 sampai 9,3 meter persegi), tergantung pada ukuran ruang dengung. Contoh-contoh dicoba dengan menempatkan mereka di lantai atau pada dinding, atau pada langit-langit ruang. Contoh harus dipasang dengan cara yang sama dengan kondisi medan yang ada atau yang dirancang. Pengukuran dilakukan pada frekuensi-frekuensi wakil jangkauan frekuensi audio.

Koefisien penyerapan bunyi bahan yang diukur dalam ruang dengung tidak boleh dianggap sebagai konstanta bahan karena ia tergantung pada ukuran contoh, posisi dan distribusi dalam ruang, cara pemasangannya, dan karakteristik fisik ruang itu sendiri. Karena itu nilai-nilai koefisiensi penyerapan bunyi yang diukur di laboratorium yang berbeda harus dibandingkan dengan hati-hati.

KEPUSTAKAAN

Buku

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, bab 2.

Beranek, L.L. (ed.): *Noise Reduction*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1960, bab 15.

The Use of Architectural-acoustical Materials, Acoustical Materials Association, New York, 1963, 36 halaman.

Majalah

Harris, C.M.: "Absorption of Sound in Air in the Audio-frequency Range", *J. Acoust. Soc. Am.*, January 1963, halaman 11–17.

Harris, C.M.: "Absorption of Sound in Air versus Humidity and Temperature", *J. Acoust. Soc. Am.*, Juli 1966, halaman 148–159.

Price, A.J., and K.A. Mulholland: "The Effect of Surface Treatment on Sound-absorbing Materials", *Applied Acoustics*, Januari 1968, halaman 67–72.

Beranek, L.L.: "Audience and Chair Absorption in Large Halls", *J. Acoust. Soc. Am.*, Januari 1969, halaman 13–19.

Ford, R.D., and M. West: "The Fundamental Acoustic Parameters of Two Commonly Used Absorbent Materials", *Applied Acoustics*, April 1970, halaman 89–103.

Delany, M.E., and E.N. Barley: "Acoustical Properties of Fibrous Absorbent Materials", *Applied Acoustics*, April 1970, halaman 105–116.

Buletin dan Laporan

Sound Conditioning with Carpet, The Carpet and Rug Institute, Inc., New York, 1969, 27 halaman.

Performance Data: Architectural-acoustical Materials, Acoustical and Insulating Materials Association Bulletin 30, Park Ridge, Ill., Januari 1970, 91 halaman.

BAB

ENAM

Persyaratan Akustik dalam Rancangan Auditorium

Rancangan macam-macam jenis auditorium (teater, ruang kuliah, gereja, ruang konser, rumah opera dan gedung bioskop) telah merupakan masalah yang kompleks dalam praktek arsitektur masa kini, karena di samping persyaratan keindahan, fungsional, teknik, seni dan ekonomi yang bermacam-macam serta kadang-kadang bertentangan, suatu auditorium seringkali harus menyediakan tempat bagi banyak pengunjung yang sebelumnya belum pernah terjadi. Lebih lanjut, standar-standar sekarang sering berarti bahwa ruang yang sama harus digunakan untuk bermacam-macam jenis acara (auditorium aneka fungsi) dan bahwa kapasitas ruang harus secara mudah disesuaikan dengan kebutuhan sesaat (auditorium aneka bentuk). Ini adalah persyaratan yang penting, dan haruslah diingat bahwa jika penonton memasuki suatu auditorium, maka ia mempunyai hak untuk mengharapkan – di samping kualitas acaranya sendiri – kenyamanan, keamanan, lingkungan yang menyenangkan, penerangan yang cukup, pemandangan (viewing) yang memadai dan bunyi yang baik.

Kondisi mendengar dalam tiap auditorium sangat dipengaruhi oleh pertimbangan-pertimbangan arsitektur murni, seperti bentuk ruang, dimensi, dan volume, letak batas-batas permukaan, pengaturan tempat duduk, kapasitas penonton, lapisan permukaan dan bahan-bahan untuk dekorasi interior. Hampir tiap rinci (detail) dalam ruang tertutup sedikit banyak akan menentukan penampilan akustik ruang tersebut. Jawaban persyaratan akustik yang memuaskan tidak mengurangi atau bahkan membatasi kebebasan arsitek dalam merancang. Tiap masalah akustik dapat diatasi dengan sejumlah cara. Praktek-praktek dewasa ini dalam konstruksi dan dekorasi interior memungkinkan prinsip-prinsip dan persyaratan akustik diterjemahkan secara memuaskan dalam bahasa arsitektur masa kini.

6.1 Garis Besar Persyaratan Akustik

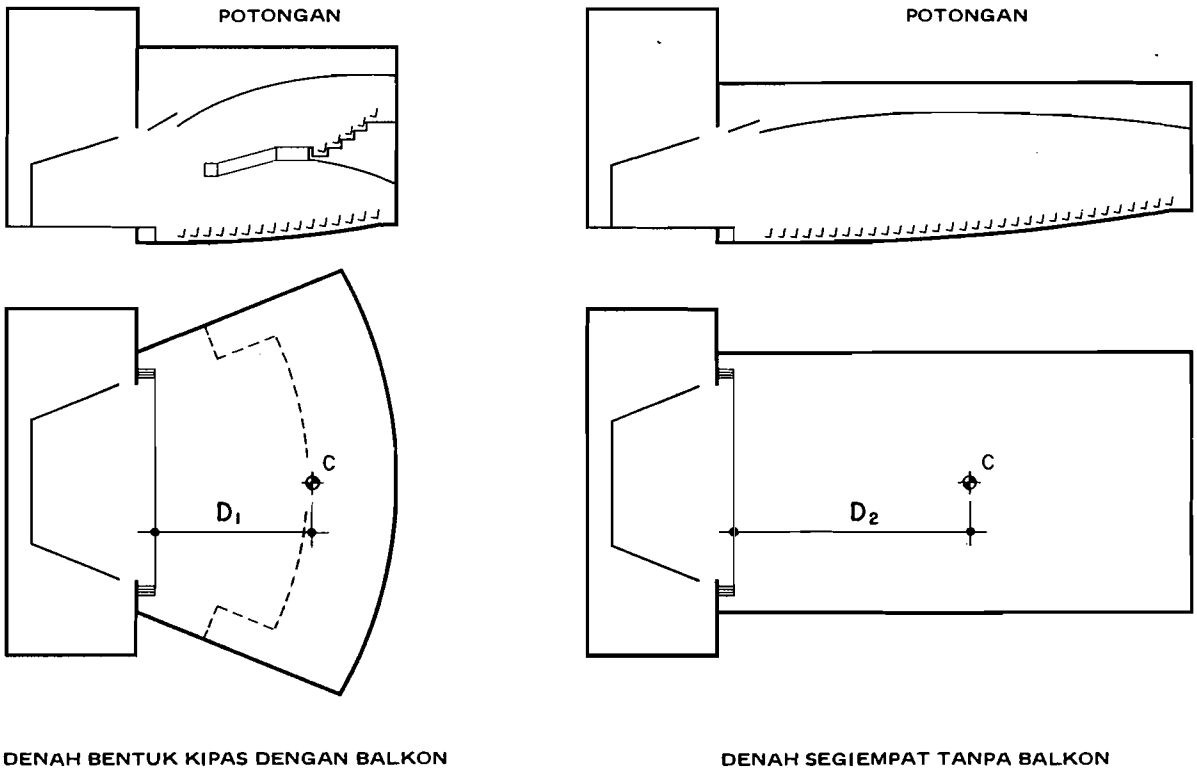
Berikut ini adalah persyaratan kondisi mendengar yang baik dalam suatu auditorium:

1. Harus ada kekerasan (loudness) yang cukup dalam tiap bagian auditorium terutama di tempat-tempat duduk yang jauh.
2. Energi bunyi harus didistribusi secara merata (terdifusi) dalam ruang.
3. Karakteristik dengung optimum harus disediakan dalam auditorium untuk memungkinkan penerimaan bahan acara yang paling disukai oleh penonton dan penampilan acara yang paling efisien oleh pemain.
4. Ruang harus bebas dari cacat-cacat akustik seperti gema, pemantulan yang berkepanjangan (long-delayed reflections), gaung, pemusatan bunyi, distorsi, bayangan bunyi, dan resonansi ruang.
5. Bising dan getaran yang akan mengganggu pendengaran atau pementasan harus dihindari atau dikurangi dengan cukup banyak dalam tiap bagian ruang.

6.2 Kekerasan (Loudness) yang Cukup

Masalah/problema pengadaan *kekerasan yang cukup,* terutama dalam auditorium ukuran sedang dan besar, terjadi karena energi yang hilang pada perambatan gelombang bunyi dan karena penyerapan yang besar oleh penonton dan isi ruang (tempat duduk empuk, karpet, tirai dan lain-lain). Hilangnya energi bunyi dapat dikurangi dan kekerasan yang cukup dapat diadakan dengan cara-cara sebagai berikut.

1. Auditorium harus dibentuk agar penonton sedekat mungkin dengan sumber bunyi, dengan demikian mengurangi jarak yang harus ditempuh bunyi. Dalam auditorium yang besar, penggunaan balkon menyebabkan lebih banyak tempat duduk mendekat ke sumber bunyi (Gambar 6.1).

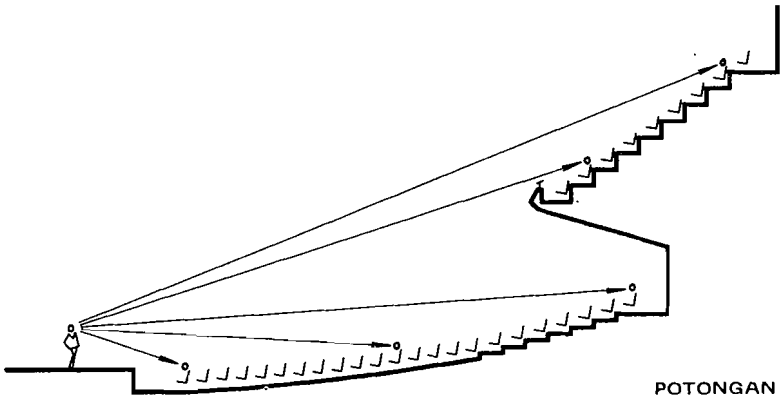


Gambar 6.1 Dalam auditorium bentuk kipas dengan balkon, penonton dapat didudukkan lebih dekat ke sumber bunyi daripada dalam auditorium segiempat dengan kapasitas sama tanpa balkon. C, pusat gravitasi daerah pendengar; D_1, D_2, jarak rata-rata antara sumber bunyi dan pendengar.

2. Sumber bunyi harus dinaikkan agar sebanyak mungkin terlihat, sehingga menjamin aliran gelombang bunyi langsung yang bebas (gelombang yang merambat secara langsung dari sumber bunyi tanpa pemantulan) ke tiap pendengar (Gambar 6.2).

3. Lantai di mana penonton duduk harus dibuat cukup landai atau miring (ramped or raked), karena bunyi lebih mudah diserap bila merambat melewati penonton dengan sinar datang miring (grazing incidence). Sebagai aturan umum, dan demi keamanan, gradien sepanjang lorong (aisles) lantai auditorium yang miring tidak boleh lebih dari 1 banding 8; namun, persyaratan peraturan-peraturan bangunan daerah harus juga diperhatikan. Walaupun lantai sepanjang lorong-lorong miring, untuk tujuan pemasangan yang praktis biasanya digunakan tangga (steps) yang dangkal/rendah di bawah tempat duduk. Lantai penonton teater yang digunakan untuk pentas hidup (live performances), terutama dengan panggung terbuka atau arena (Bab 7), harus dibuat bertangga (Gambar 6.3).

Gambar 6.4 menunjukkan metode untuk menetapkan kemiringan lantai yang sekaligus menyebabkan garis pandang vertikal yang baik dan arus gelombang bunyi langsung ke pendengar yang memuaskan. Telah dimisalkan bahwa Titik Tujuan Pandangan (TTP) (arrival point



Gambar 6.2 Bila pendengar menerima banyak bunyi langsung, maka hal ini menguntungkan kekerasan bunyi.

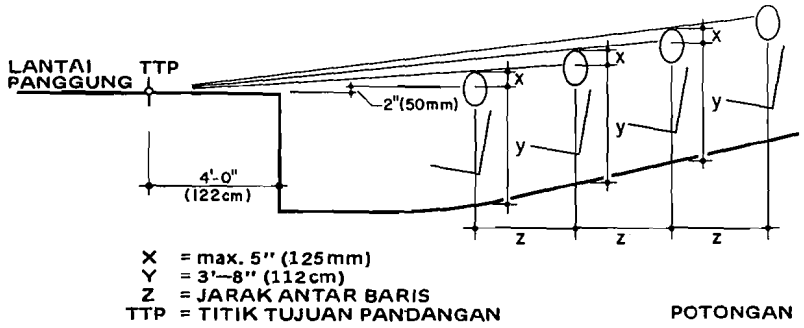
Gambar 6.3 Lantai penonton yang bertingkat di Theatre Port Royal, Montreal dengan 800 tempat duduk, memungkinkan banyak bunyi langsung dari panggung ke penonton. (David, Barott, dan Boulva, arsitek; Bolt, Beranek, dan Newman, konsultan akustik. Foto oleh Beaudin-Nobert Inc.)

gunakan untuk pentas hidup (live performances), terutama dengan panggung terbuka atau arena (Bab 7), harus dibuat bertangga/bertingkat (Gambar 6.3).

Gambar 6.4 menunjukkan metoda untuk menetapkan kemiringan lantai yang sekaligus menyebabkan garis pandang vertikal yang baik dan arus gelombang bunyi langsung ke pendengar yang memuaskan. Telah dimisalkan bahwa Titik Tujuan Pandangan (TTP) (arrival point

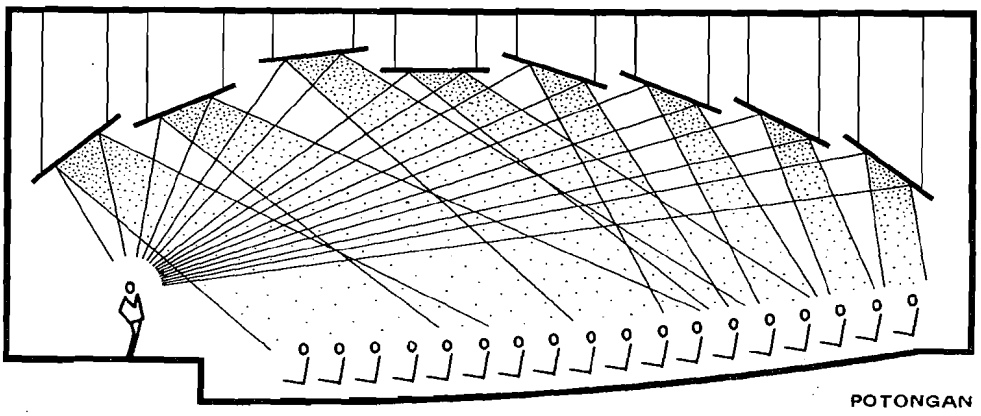
of sight = APS) ditempatkan pada lantai panggung 4 ft (122 cm) dari tepi panggung. Ini biasanya terjadi pada lantai yang terlampau curam, dengan hasil yang dikenal sebagai ruang yang sangat tinggi. Kemiringan yang lebih baik dapat diperoleh dengan memperhatikan kesepakatan-kesepakatan di bawah ini: (1) menaikkan TTP bila memungkinkan, (2) mengurangi nilai x secukupnya (dijelaskan dalam Gambar 6.4), atau (3) memperhatikan pandangan dua baris (dan bukan pandangan satu baris, yang menghasilkan pandangan tak terhalang oleh kepala penonton di barisan yang tepat di depannya) dan menyelang-nyeling tempat duduk supaya dapat melihat antara dua kepala penonton di barisan tepat di depannya.

Kemiringan balkon yang biasanya curam, yang mula-mula terutama dimaksudkan untuk tujuan-tujuan visual, biasanya menciptakan kondisi yang memuaskan bagi penerimaan gelombang bunyi langsung.

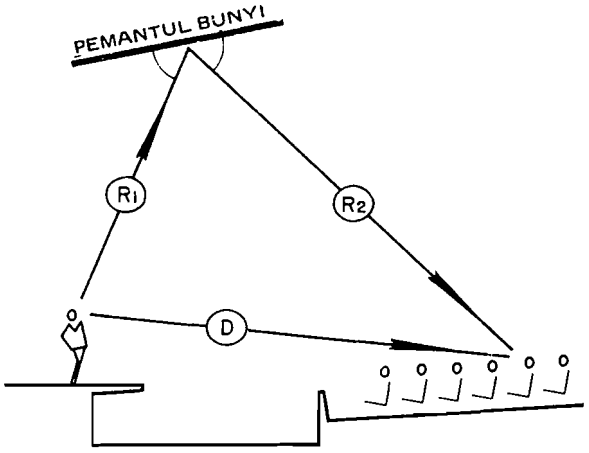


Gambar 6.4 Metoda untuk mendapatkan garis pandang yang baik didasarkan pada pandangan satu baris.

4. Sumber bunyi harus dikelilingi oleh permukaan-permukaan pemantul bunyi (plaster, gypsum board, plywood, plexiglas, papan plastik kaku, dan lain-lain) yang besar dan banyak; untuk memberikan energi bunyi pantul tambahan pada tiap bagian daerah penonton, terutama pada tempat-tempat duduk yang jauh (Gambar 6.5). Harus diingat bahwa ukuran permukaan pemantul harus cukup besar dibandingkan dengan panjang gelombang bunyi yang akan dipantulkan (seperti yang dijelaskan dalam Bab 4) dan pemantul harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga sela (gap) penundaan waktu mula-mula antara bunyi langsung dan bunyi pantul pertama relatif singkat, bila mungkin tidak lebih dari 30 milisekon(msek), yaitu 30/1.000 sekon (Gambar 6.6). Sudut-sudut permukaan pemantul harus ditetapkan dengan hukum pemantulan bunyi (dibahas dalam Bab 4), dan langit-langit serta permukaan dinding perlu dimanfaatkan dengan baik agar diperoleh pemantulan-pemantulan bunyi yang tertunda dengan singkat dalam jumlah yang terbanyak (Gambar 6.7). Langit-langit dan bagian depan dinding-dinding samping auditorium selalu merupakan permukaan yang cocok untuk digunakan sebagai pemantul bunyi. Dalam praktek, penyatuan sistem langit-langit dan dinding pemantul yang efisien secara akustik dalam keseluruhan denah, termasuk persyaratan-persyaratan arsi-



Gambar 6.5 Langit-langit pemantul yang diletakkan dengan tepat, dengan pemantulan bunyi yang makin banyak ke tempat-tempat duduk yang jauh, secara efektif menyumbang kekerasan yang cukup.

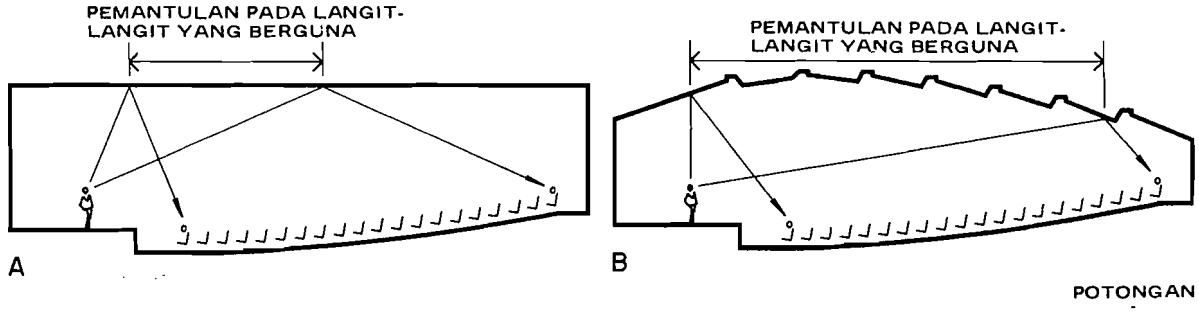


PENUNDAAN WAKTU DALAM MILISEKON

$\frac{R_1+R_2-D}{1{,}13}$ BILA SATUAN DALAM FEET

$\left[\frac{R_1+R_2-D}{0{,}34}\right.$ BILA SATUAN DALAM METER$\left.\right]$

Gambar 6.6 Bunyi pantul memperkuat bunyi langsung bila penundaan waktu antara bunyi-bunyi tersebut relatif singkat, yaitu, maksimum 30 msekon.



Gambar 6.7 Langit-langit datar (potongan A) hanya menyediakan pemantulan dengan waktu tunda singkat yang terbatas. Permukaan langit-langit yang dimiringkan dengan tepat (potongan B) lebih menyumbang pengadaan pemantulan bunyi yang berguna, yaitu, kekerasan yang cukup.

tektur, bangunan, mekanik dan penerangan, merupakan masalah yang menantang dalam perancangan auditorium masa kini (Gambar 6.8 dan 6.10).

5. Luas lantai dan volume auditorium harus dijaga agar cukup kecil, sehingga jarak yang harus ditempuh bunyi langsung dan bunyi pantul lebih pendek. Tabel 6.1 mencantumkan nilai volume per tempat duduk yang disarankan untuk berbagai jenis auditorium.

6. Permukaan pemantul bunyi yang paralel (horisontal maupun vertikal), terutama yang dekat dengan sumber bunyi, harus dihindari, untuk menghilangkan pemantulan kembali yang tak diinginkan ke sumber bunyi.

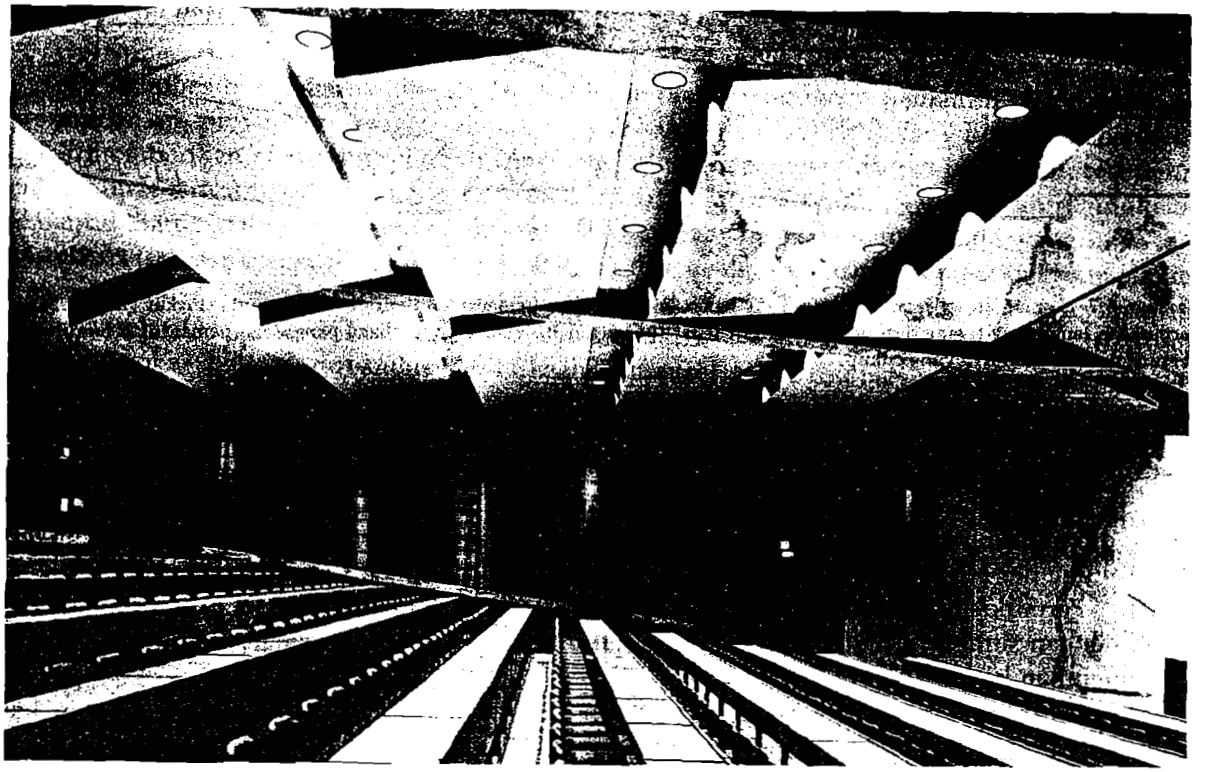
7. Penonton harus berada di daerah penonton yang menguntungkan, baik dalam hal melihat maupun mendengar. Daerah tempat duduk yang sangat lebar harus dihindari (Gambar 3.8). Lorong antar tempat duduk jangan ditempatkan sepanjang sumbu longitudinal auditorium, di mana kondisi melihat dan mendengar sangat baik. Keuntungan akustik yang diberikan oleh tempat duduk kontinental (tanpa lorong longitudinal di tengah) cukup jelas.

8. Bila di samping sumber bunyi utama yang biasanya ditempatkan di bagian depan auditorium, terdapat sumber bunyi tambahan di bagian lain ruang (seperti misalnya dalam gereja), maka sumber bunyi tambahan ini harus dikelilingi juga oleh permukaan pemantul bunyi. Dalam tiap auditorium, sebanyak mungkin energi bunyi harus dipancarkan dari semua posisi "pengirim" ke semua daerah "penerima".

9. Di samping permukaan pemantul yang berfungsi menguatkan bunyi langsung ke penonton, permukaan pemantul tambahan harus disediakan untuk mengarahkan bunyi kem-

TABEL 6.1 Nilai volume per tempat duduk yang direkomendasi untuk berbagai jenis auditorium

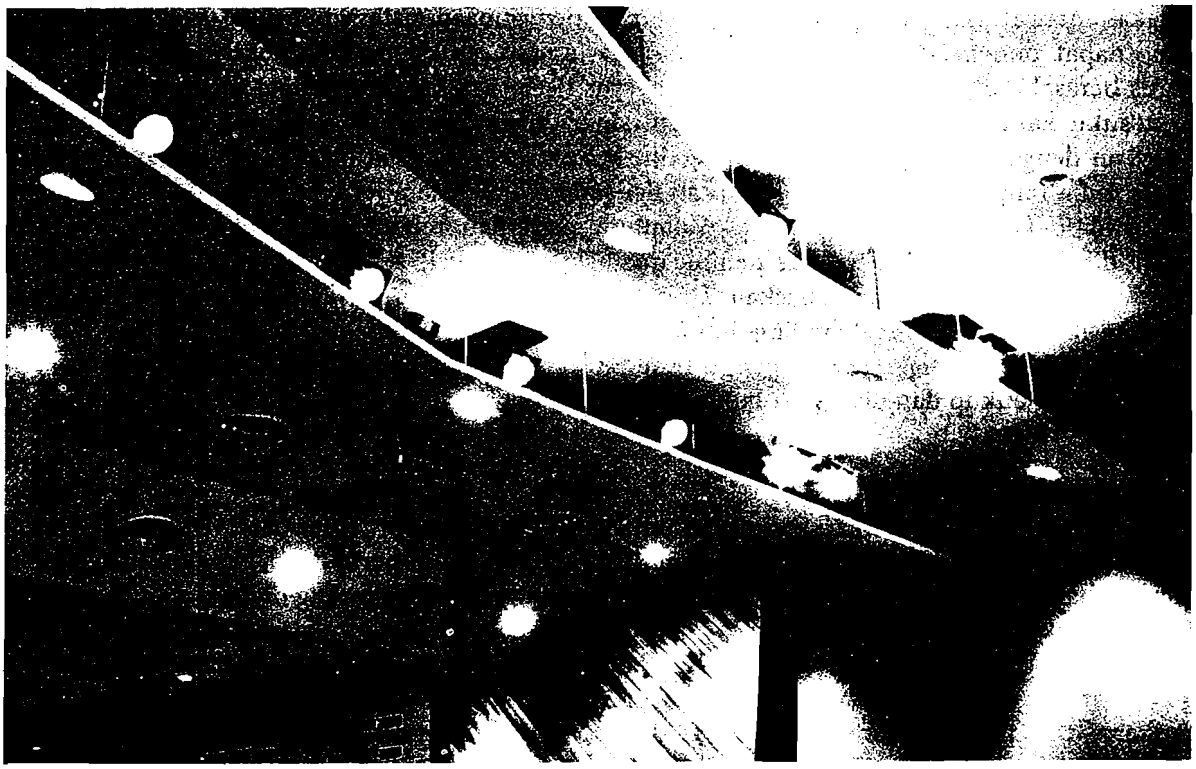
Jenis auditorium	Volume per tempat duduk penonton, cu ft (cu m)		
	Min.	Opt.	Maks.
Ruang pidato	80 (2,3)	110 (3,1)	150 (4,3)
Ruang konser	220 (6,2)	275 (7,8)	380 (10,8)
Rumah opera	160 (4,5)	200 (5,7)	260 (7,4)
Gereja Roma Katolik	200 (5,7)	300 (8,5)	425 (12)
Gereja Protestant dan tempat ibadah	180 (5,1)	255 (7,2)	320 (9,1)
Auditorium serba-guna	180 (5,1)	250 (7,1)	300 (8,5)
Gedung bioskop	100 (2,8)	125 (3,5)	180 (5,1)



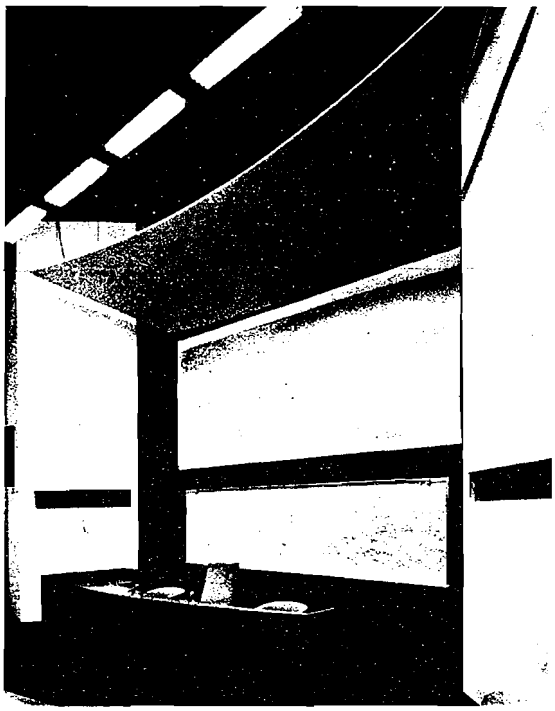
Gambar 6.8 Langit-langit pemantul bunyi, sederetan panel-panel yang dimiringkan, dalam ruang kuliah dengan 350 tempat duduk, di Universite de Montreal. (Beauvais dan Lusignan, architects; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Studio Bowe.)

bali ke pementas. Hal ini penting terutama dalam auditorium yang dirancang untuk pertunjukan musik atau vokal.

Pemantul-pemantul bunyi yang ditempatkan dengan benar, selain menguatkan energi bunyi, juga menciptakan suatu kondisi lingkungan yang dikenal sebagai *efek ruang* (space effect). Hal ini tercapai bila pendengar menerima bunyi dari berbagai arah. Gejala ini khas untuk ruang-ruang tertutup tetapi hilang sama sekali pada teater terbuka.



Gambar 6.9 Celah untuk penerangan panggung dipadukan dalam langit-langit pemantul bunyi auditorium sekolah menengah dengan 700 tempat duduk di Quebec. (Lemay, Leclerc, dan Trahan, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Studio Bowe.)



Gambar 6.10 Elemen-elemen fungsional (papan tulis, layar proyeksi, mikrofon dan pesawat televisi, pengeras suara, serta lampu penerangan) dipadukan ke dalam bagian depan yang bersifat memantul bunyi, suatu ruang kuliah dengan 132 tempat duduk, di Universite de Montreal. (Kantor perencanaan Universitas, J.C. Martineau, arsitek kepala; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Studio Bowe.)

Langkah-langkah yang ditulis sejauh ini akan memperbaiki cukup banyak (kadang-kadang secara mengherankan) kekerasan dalam auditorium ukuran kecil dan sedang, tetapi mereka tak akan menampilkan keajaiban. Seorang guru atau aktor dapat berbicara dengan suara sangat lemah, sehingga, bahkan pendengar di dekatnya, sulit untuk mengertinya. Dalam hal ini tidak mungkin diharapkan bahwa intensitas suaranya yang sangat lemah itu dapat dinaikkan oleh

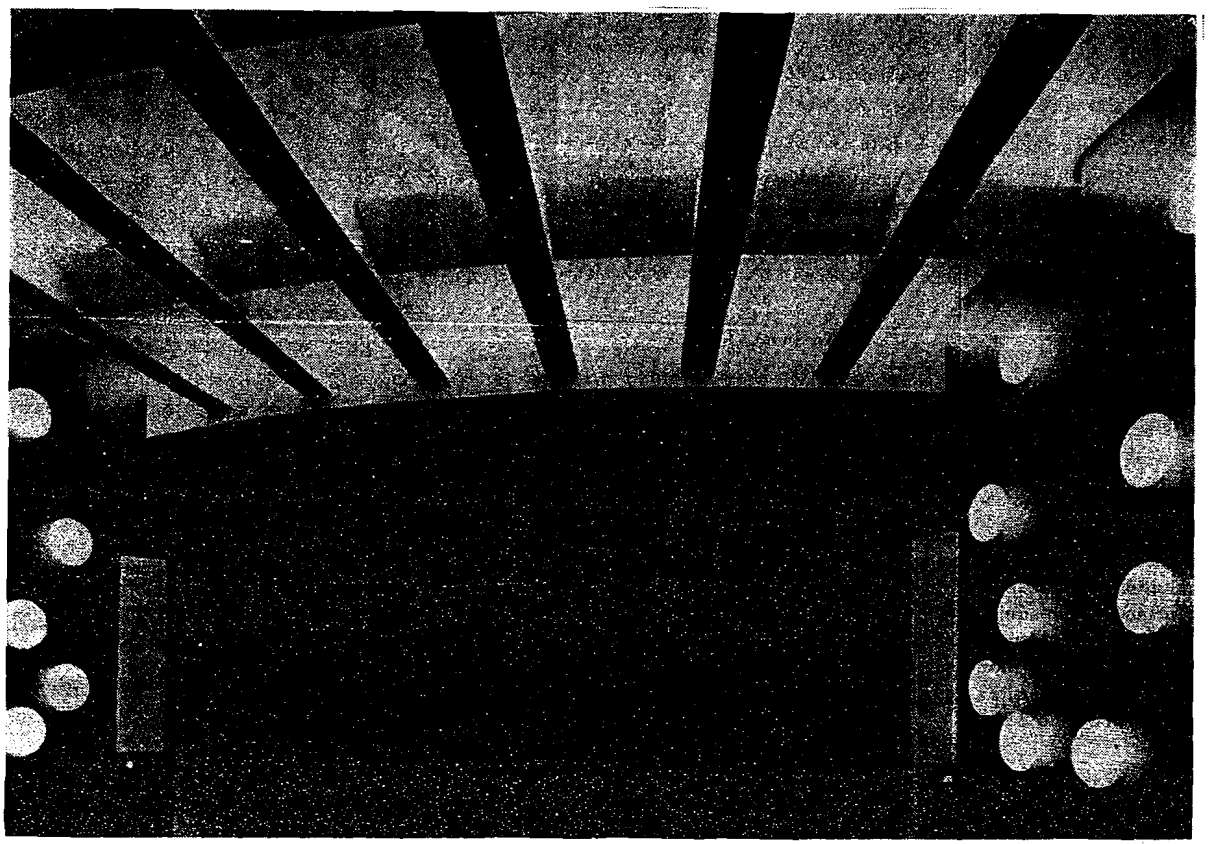
langkah pengaturan akustik yang biasa (tanpa penggunaan sistem penguat) menjadi tingkat yang dapat dimengerti. Karena itu langkah pertama dalam pengadaan kekerasan yang cukup harus berasal dari pementas itu sendiri: ia harus berbicara keras dan dapat dimengerti, dengan suku-suku kata yang diucapkan keras dan dapat dimengerti, dengan suku-suku kata yang diucapkan dengan sejelas dan serata mungkin. Kekerasan yang baik tidak dapat diperoleh dalam auditorium tanpa bunyi yang dipancarkan dengan baik oleh sumbernya.

Dalam auditorium yang besar, walaupun perhatian telah diberikan pada hal-hal yang telah dibahas sejauh ini, tingkat pembicaraan (speech level) sering terlampau rendah untuk kondisi mendengar yang memuaskan. Dalam keadaan semacam itu dan juga di tempat-tempat terbuka di mana tidak ada dinding-dinding ruang untuk mengadakan pemantulan energi bunyi yang cukup, pemasangan sistem pengeras suara hampir selalu diperlukan, untuk menjamin kekerasan yang cukup dan distribusi bunyi yang baik. Hal ini akan dibahas dalam Bab 11.

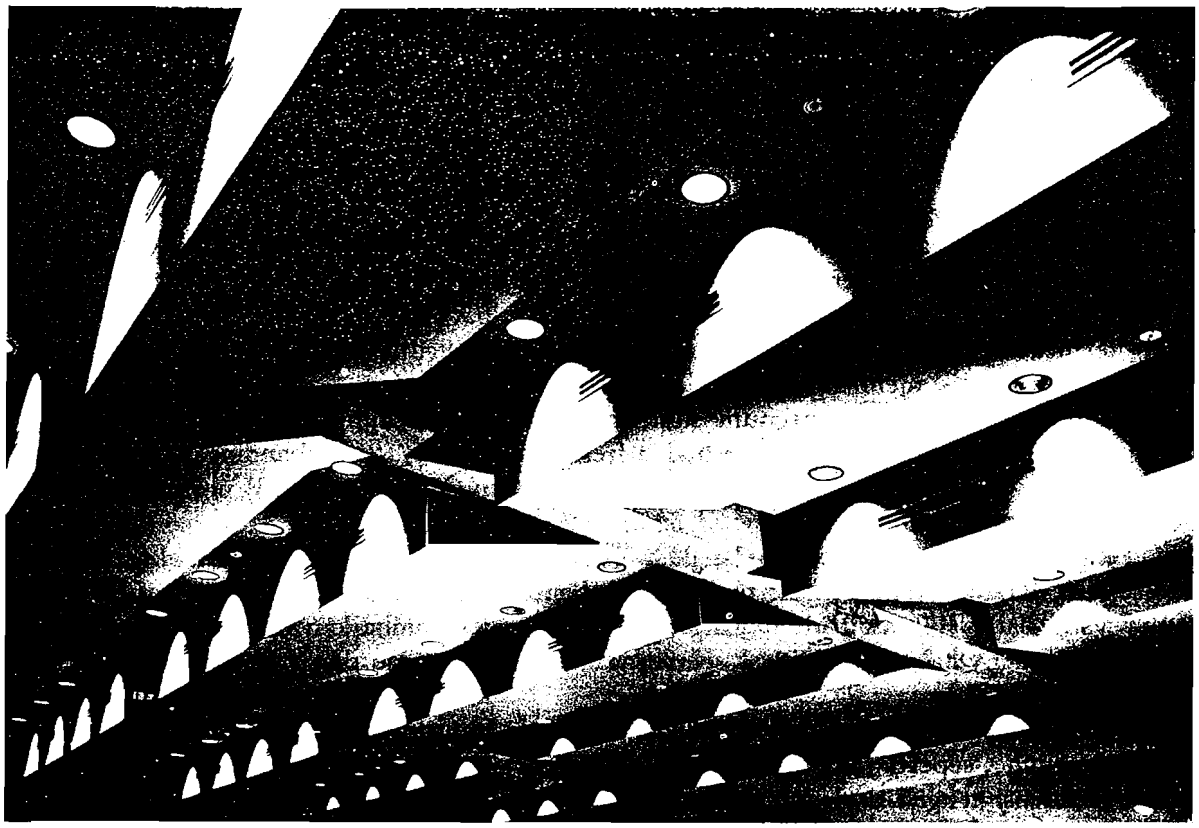
6.3 Difusi Bunyi

Paragraf 4.3 menggambarkan cara-cara untuk memperoleh *difusi akustik.* Dua hal penting harus diperhatikan dalam usaha pengadaan difusi dalam ruang: permukaan tak teratur (elemen-elemen bangunan yang ditonjolkan, langit-langit yang ditutup, dinding-dinding yang bergerigi, kotak-kotak yang menonjol, dekorasi permukaan yang dipahat, bukaan jendela yang dalam, dan lain-lain) harus banyak digunakan, dan harus cukup besar (Gambar 6.11 dan 6.12).

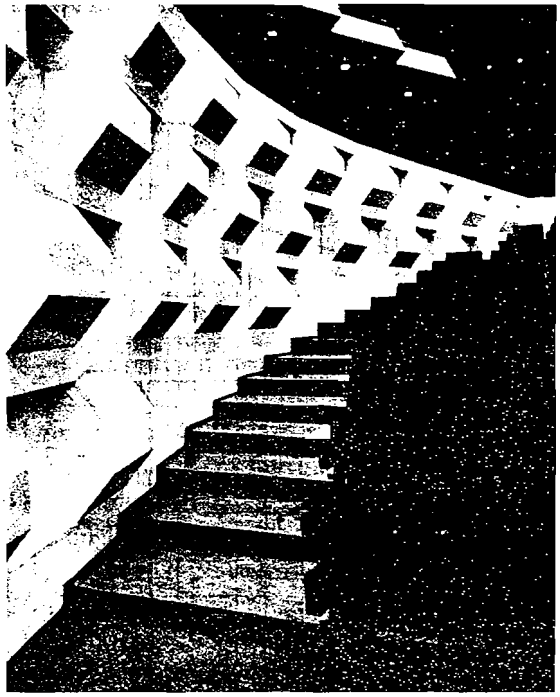
Untuk alasan biaya dan keindahan, terutama dalam ruang-ruang kecil, penggunaan permukaan tak teratur seringkali sulit. Dalam kasus-kasus seperti ini, distribusi bahan-bahan penyerap bunyi yang acak atau penggunaan bahan pemantul bunyi dan penyerap bunyi secara bergantian adalah usaha-usaha lain untuk mengadakan difusi. Penggunaan penyebar akustik



Gambar 6.11 Permukaan-permukaan berukuran besar yang tak teratur dan menyebarkan bunyi, dipadukan ke dalam dinding-dinding panggung yang bersifat memantul bunyi, di auditorium serba guna dengan 1000 tempat duduk di Quebec. (Amyot dan Vagi, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Legare & Kedl.)



Gambar 6.12 Pengaturan panel langit-langit pemantul bunyi yang bergerigi, yang menyebabkan difusi yang menguntungkan dalam ruang kuliah dengan 300 tempat duduk, di Universiti de Montreal. (Beauvais dan Lusignan, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Studio Bowe.)



Gambar 6.13 Penyebar marmer di kompleks ruang konser dengan 2.323 tempat duduk di Groote Zaal of Rotterdam's De Doelen. (Kraaijvanger, Kraaijvanger, dan Fledderus, arsitek; C.W.A. Kosten dan P.A. de Lange, konsultan akustik. Foto oleh W. van Suchtelen.)

(acoustical diffusers) adalah penting, terutama dalam ruang konser, rumah opera, studio radio dan rekaman, dan ruang musik (Gambar 6.13).

Pengaruh penyebar akustik yang menguntungkan terhadap kondisi akustik auditorium-auditorium cukup nyata. Pemasangan permukaan-permukaan tak teratur dalam jumlah dan

ukuran yang cukup pada ruang-ruang dengan RT yang agak panjang, akan banyak memperbaiki kondisi mendengar.

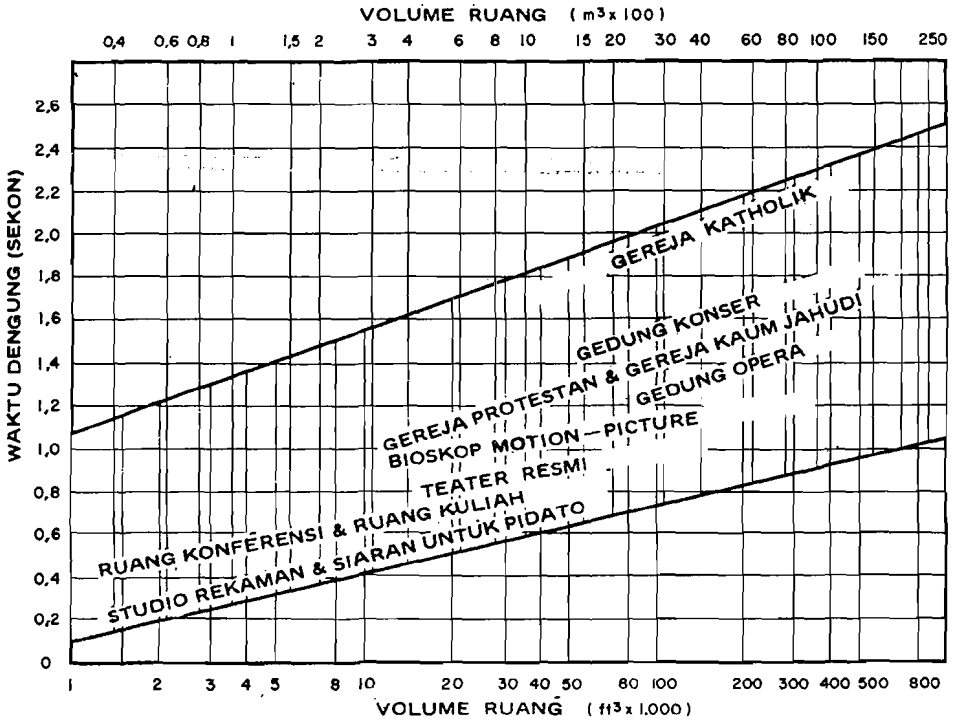
6.4 Pengendalian Dengung

Orator, aktor, pemusik, penyanyi — sebenarnya semua pementas dalam auditorium — mengharapkan bunyi yang ditimbulkan sumber tidak mati atau berkurang dengan cepat, tetapi bertahan untuk beberapa saat. Dengan perkataan lain, suatu auditorium harus bereaksi terhadap bunyi yang diinginkan seperti yang dilakukan instrumen musik, meningkatkan dan memperpanjang bunyi asli. Perpanjangan bunyi ini sebagai akibat pemantulan berulang-ulang dalam ruang tertutup setelah sumber bunyi dimatikan disebut *dengung;* yang memberikan pengaruh tertentu pada kondisi mendengar, seperti dijelaskan dalam Bab 4.

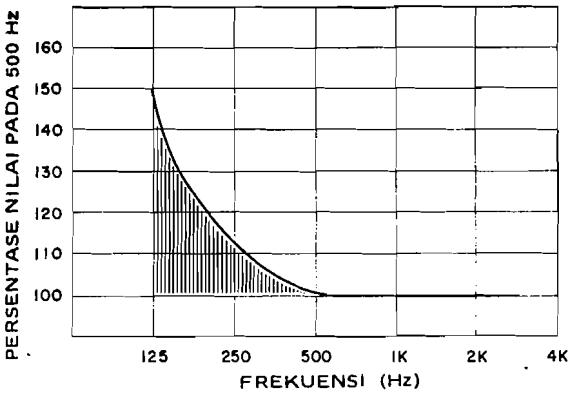
Karakteristik dengung optimum suatu ruang yang tergantung pada volume dan fungsi ruang, berarti (1) karakteristik RT terhadap frekuensi disukai, (2) perbandingan bunyi pantul terhadap bunyi langsung yang tiba di penonton menguntungkan, dan (3) pertumbuhan dan peluruhan bunyi optimum.

Pengendalian RT merupakan langkah yang penting dalam perancangan akustik suatu auditorium, tetapi kurang penting pada analisis bentuk ruang dan distribusi pemantulan energi bunyi yang baik. RT auditorium yang optimum dapat digambarkan oleh kumpulan kurva-kurva yang menyatakan nilai ideal sehubungan dengan volume dan fungsi ruang yang bersangkutan.

Gambar 6.14 menunjukkan jangkauan waktu dengung auditorium yang optimum pada berbagai volume, seperti yang disarankan oleh banyak penulis. Gambar itu berlaku untuk jangkauan frekuensi tengah dari 500 sampai 1.000 Hz. Nilai-nilai ini dapat dipakai sebagai dasar yang dapat diandalkan untuk kondisi mendengar yang baik dalam auditorium. Pengalaman menunjukkan bahwa perbedaan yang besar pada nilai RT frekuensi-frekuensi di luar frekuensi tengah akan menciptakan kondisi mendengar yang kurang memuaskan. Bermacam-macam kurva RT terhadap frekuensi telah disarankan; biasanya dianjurkan kurva datar di atas 500 Hz. Untuk musik, diusulkan suatu kurva yang pada 125 Hz naik sampai sekitar 1,5 kali nilai pada



Gambar 6.14 Jangkauan perkiraan RT ruang yang penuh, untuk bermacam-macam volume dan fungsi pada frekuensi tengah (500 sampai 1000 Hz).



Gambar 6.15 Variasi RT terhadap frekuensi yang disarankan. Pada frekuensi kurang dari 500 Hz, RT harus bertambah sesuai dengan nilai-nilai dalam daerah yang bergaris.

500 Hz, sedangkan untuk pidato kurva harus tetap datar sampai 125 Hz. Ini ditunjukkan dalam Gambar 6.15. Untuk auditorium serba-guna, kurva RT terhadap frekuensi di bawah 500 Hz boleh berada di mana saja antara batas-batas ini. Penyimpangan 5 sampai 10 persen dari nilai RT optimum yang ditetapkan biasanya masih dapat diterima, terutama dalam auditorium yang sangat difus. Gambar 6.14 secara jelas menunjukkan bahwa ruang yang digunakan untuk pidato membutuhkan RT yang lebih pendek dibandingkan ruang dengan volume sama yang digunakan untuk musik atau vokal.

Dalam perancangan akustik suatu auditorium, sekali RT optimum pada jangkauan frekuensi tengah dipilih dan hubungan RT terhadap frekuensi di bawah 500 Hz ditetapkan, maka selanjutnya pengendalian dengung dilakukan dengan menetapkan jumlah penyerapan ruang total yang harus diberikan oleh lapisan-lapisan akustik, penghuni, isi ruang dan lain-lain, untuk menghasilkan nilai RT yang telah dipilih tadi. Perhitungan RT yang disederhanakan untuk ruang-ruang dengan ukuran sedang dengan pemakaian bahan penyerap bunyi yang ekonomis (seperti dalam banyak hal), dapat menggunakan rumus yang dibahas dalam Bab 4:

$$\mathrm{RT} = \begin{cases} \dfrac{0{,}05V}{A + xV} & \text{sistem Inggeris} \\[2ex] \dfrac{0{,}16V}{A + xV} & \text{sistem metrik} \end{cases}$$

dengan RT = waktu dengung, sekon
V = volume ruang, ft kubik (meter kubik)
A = penyerapan ruang total, sabin ft persegi (sabin meter persegi)
x = koefisien penyerapan udara (lihat Apendiks Tabel A.1)

Rumus ini menunjukkan bahwa makin besar volume ruang, makin panjang RT, dan makin banyak penyerapan dimasukkan ke dalam ruang, makin rendah RT. Rumus ini juga menyatakan bahwa RT dalam auditorium yang sama dapat diubah dengan menambah atau mengurangi volume ruang (misalnya, dengan menurunkan atau menaikkan langit-langit yang dapat digerakkan), atau dengan menggunakan penyerap variabel (Bab 5). Contoh perhitungan RT diberikan dalam Bab 19.

Karena penyerapan banyak bahan dan lapisan yang digunakan dalam rancangan auditorium biasanya berubah dengan frekuensi, maka nilai RT juga berubah dengan frekuensi. Karena itu perlu ditetapkan dan dihitung RT untuk sejumlah frekuensi wakil pada jangkauan frekuensi audio. Seperti telah disebutkan sebelum ini, acuan nilai RT tanpa menyebutkan frekuensi umumnya berarti RT pada 500 Hz.

Dalam memilih lapisan akustik sejumlah pertimbangan harus diperhatikan secara serentak; mereka telah didaftar dalam Bab 5.9.

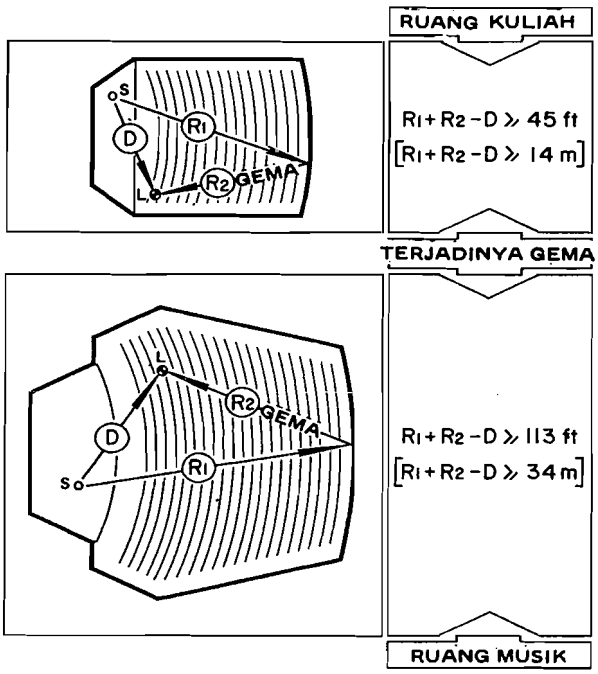
Dalam hampir semua auditorium penonton melakukan penyerapan terbanyak, yaitu sekitar 5 sabin ft persegi (0,45 meter persegi) per orang. Bila jumlah penonton sangat berfluk-

tuasi, maka kondisi mendengar harus juga memuaskan dalam ketidak-hadiran sebagian atau seluruh penonton. Cara paling efektif untuk mencapai ini, walaupun tentunya tidak murah, adalah mengganti hilangnya penyerapan yang tadinya dilakukan oleh penonton, dengan tempat duduk empuk yang bagian bawah tempat duduknya juga menyerap.

Sebagai aturan umum, bahan penyerap bunyi harus dipasang sepanjang permukaan batas auditorium yang mempunyai kemungkinan besar menghasilkan cacat akustik seperti gema, gaung (flutter echoes), pemantulan yang berkepanjangan (long-delayed) dan pemusatan bunyi. Lapisan akustik mula-mula harus diberikan pada dinding belakang (berlawanan dengan sumber bunyi), kemudian pada bagian-bagian dinding samping yang paling jauh dari sumber bunyi atau sepanjang batas tepi langit-langit. Tidak ada suatu dasar yang membenarkan untuk menempatkan permukaan penyerap bunyi di bagian tengah langit-langit auditorium, karena fungsi utama daerah ini adalah memantulkan bunyi dengan cepat ke pendengar.

Perhitungan dengung, pemilihan dan distribusi lapisan-lapisan akustik dalam auditorium yang besar, tergantung pada seberapa pentingnya pertimbangan-pertimbangan akustik yang harus diberikan. Dalam hal ini biasanya dibutuhkan bantuan jasa seorang ahli akustik, untuk menghindari pemakaian lapisan-lapisan akustik yang tidak efisien dan penempatannya yang salah.

Karena dalam merancang suatu auditorium, arsitek biasanya berjuang untuk suatu pemecahan yang individual, maka bahan penyerap bunyi standar yang komersial jarang digunakan dalam praktek. Gambar 5.16 sampai 5.21 menggambarkan contoh-contoh pengaturan akustik yang biasa dirancang dan digunakan dalam pengendalian dengung yang berhasil.



Gambar 6.16 Terjadinya gema dalam auditorium. S, sumber bunyi; L, pendengar; D, bunyi langsung; R_1, R_2, bunyi pantul.

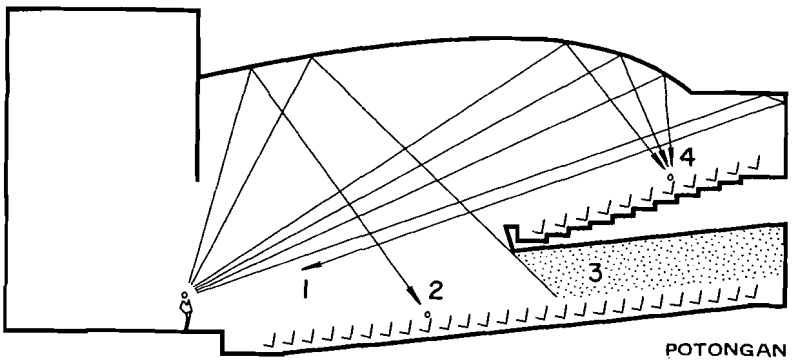
6.5 Eliminasi Cacat Akustik-Ruang

Di samping menyediakan sifat-sifat akustik yang positif, seperti kekerasan yang cukup, distribusi energi bunyi yang merata, dan waktu dengung optimum, cacat-cacat akustik-ruang yang potensial perlu ditiadakan. Cacat akustik yang paling sering dijumpai dan yang dapat merusak bahkan kadang-kadang menghancurkan kondisi akustik yang sebenarnya baik, akan dijelaskan secara singkat.

6.5.1 Gema *Gema* yang mungkin merupakan cacat akustik-ruang yang paling berat, dapat diamati bila bunyi dipantulkan oleh suatu permukaan batas dalam jumlah yang cukup dan ter-

tunda cukup lama untuk dapat diterima sebagai bunyi yang berbeda dari bunyi yang merambat langsung dari sumber ke pendengar. Gema terjadi (Gambar 6.16) jika selang minimum sebesar 1/25 sekon (untuk pembicaraan) sampai 1/10 sekon (untuk musik) terjadi antara penerimaan bunyi langsung dan bunyi pantul yang berasal dari sumber yang sama. Karena kecepatan bunyi adalah sekitar 1.130 ft per sekon (344 meter per sekon), maka selang waktu kritis yang ditetapkan di atas sesuai dengan beda jejak minimum antara bunyi langsung dan bunyi pantul sebesar 45 ft (14 m) untuk pidato atau 113 ft (34 m) untuk musik. Sebuah dinding belakang yang berhadapan dengan sumber bunyi dan memantulkan bunyi, merupakan penyebab gema yang potensial dalam suatu auditorium, kecuali bila dinding tersebut diatur secara akustik atau berada di bawah balkon yang dalam (Gambar 6.17, gelombang bunyi 1).

Gema tidak boleh dicampur-adukkan dengan dengung. Gema adalah pengulangan bunyi asli yang jelas dan sangat tak disukai; sedang dengung, sampai batas-batas tertentu, adalah perluasan atau pemanjangan bunyi yang menguntungkan.

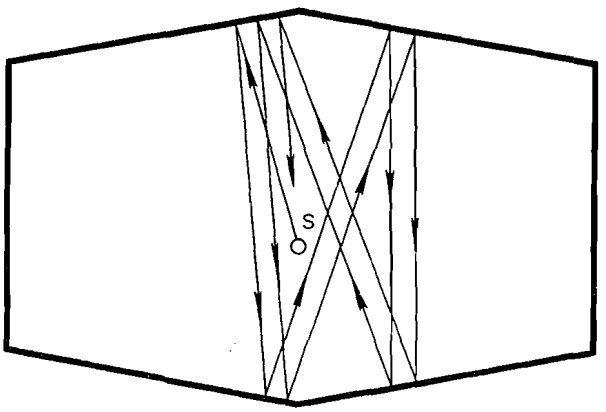


Gambar 6.17 Cacat-cacat akustik dalam auditorium. (1) gema; (2) pemantulan dengan waktu tunda yang panjang; (3) bayang-bayang bunyi; (4) pemusatan bunyi.

6.5.2 **Pemantulan Yang Berkepanjangan (Long-delayed)** Pemantulan yang berkepanjangan adalah cacat yang sejenis dengan gema, tetapi penundaan waktu antara penerimaan bunyi langsung dan bunyi pantul agak lebih singkat (Gambar 6.17, gelombang bunyi 2).

6.5.3 **Gaung** Gaung terdiri dari gema-gema kecil yang berturutan dengan cepat dan dapat dicatat serta diamati bila ledakan bunyi singkat, seperti tepukan tangan atau tembakan, dilakukan di antara permukaan-permukaan pemantul bunyi yang sejajar, walaupun kedua pasangan dinding lain yang berhadapan tidak sejajar, menyerap atau merupakan permukaan-permukaan difus. Eliminasi permukaan-permukaan pemantulan yang berhadapan dan saling sejajar adalah salah satu cara untuk menghindari gaung. Gaung tidak akan diamati bila sumber bunyi tidak diletakkan di antara permukaan-permukaan sejajar yang kritis.

Gaung juga dapat terjadi antara permukaan-permukaan pemantul bunyi yang tidak sejajar (Gambar 6.18), bila sumber bunyi diletakkan di antara permukaan-permukaan ini.



Gambar 6.18 Gaung dapat terjadi antara permukaan-permukaan pemantul bunyi yang tidak sejajar, bila sumber bunyi S diletakkan di antaranya.

Gambar 6.19 Dinding belakang pemantul bunyi (A), memungkinkan menyebabkan gema, harus diberi lapisan akustik (B), dibuat difus (C), atau dimiringkan untuk menyebabkan pemantulan dengan waktu tunda yang singkat yang menguntungkan.

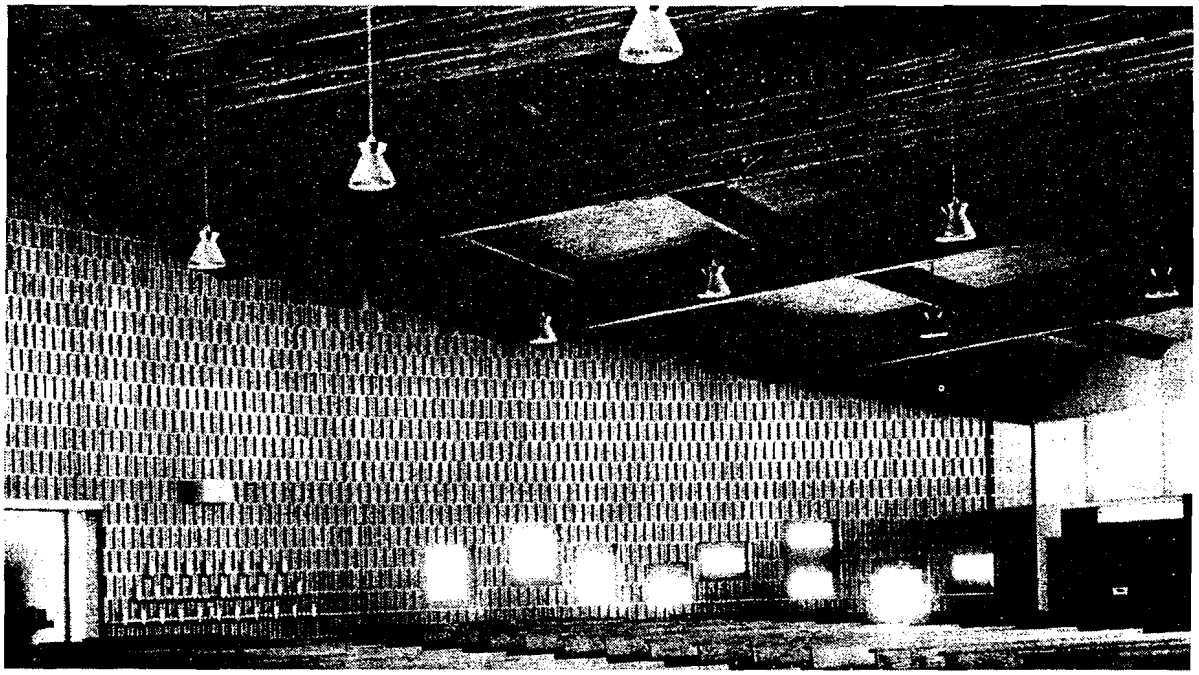
Gema, pemantulan yang berkepanjangan, dan gaung dapat dicegah dengan memasang bahan penyerap bunyi pada permukaan pemantul yang menyebabkan cacat ini. Bila penggunaan lapisan akustik sepanjang daerah-daerah kritis ini tidak memungkinkan, maka permukaan itu harus dibuat difusif atau miring, agar menghasilkan pemantulan yang ditunda secara singkat dan menguntungkan (Gambar 6.19).

6.5.4 **Pemusatan Bunyi** Pemusatan bunyi, yang kadang-kadang dinyatakan sebagai "titik panas" (hot spots), disebabkan oleh pemantulan bunyi pada permukaan-permukaan cekung. Intensitas bunyi di titik panas sangat tinggi dan selalu terjadi dengan kerugian pada daerah dengar lain, atau "titik mati" (dead spots), di mana kondisi mendengar adalah buruk (Gambar 6.17, gelombang bunyi 4). Adanya titik panas dan titik mati menyebabkan distribusi energi bunyi yang tak merata dalam ruang. Eliminasi gejala ini dalam akustik ruang adalah penting.

Dinding-dinding cekung yang besar dan tak terputus, terutama yang mempunyai jari-jari kelengkungan yang besar, harus ditiadakan atau dilapisi dengan bahan penyerap bunyi yang efisien (Gambar 6.20). Bila permukaan cekung yang besar tidak dapat dihindari atau pemakaian lapisan akustik tidak memungkinkan, maka permukaan cekung ini harus diletakkan sedemikian rupa sehingga permukaan tersebut memusatkan bunyi di suatu daerah di luar atau di atas daerah penonton.

Pemilihan dan pemasangan sistem penguat suara yang cocok dan tepat dapat mengurangi gejala akustik gema, pemantulan yang berkepanjangan, gaung, dan pemusatan bunyi yang merusak, tetapi sistem tersebut tidak akan pernah dapat mengatasinya dengan sempurna.

6.5.5 **Ruang Gandeng (Coupled Spaces)** Bila suatu auditorium dihubungkan dengan ruang disampingnya yang dengung (seperti ruang depan, ruang tempat tangga, serambi, menara panggung atau tempat pembaptisan) lewat sarana pintu ke luar-masuk yang terbuka, maka kedua ruang itu membentuk ruang gandeng. Selama rongga udara ruang yang bergandengan itu saling berhubungan, maka masuknya bunyi dengung dari ruang tetangga ke dalam auditorium akan terasa, walaupun dengung dalam auditorium tersebut telah diatur dengan baik. Gejala ini ter-



Gambar 6.20 Pemusatan bunyi yang tak diinginkan di gereja yang melengkung, Ville d'Anjou, Quebec, dengan 700 tempat duduk; dihindari dengan penggunaan balok berongga penyerap bunyi sepanjang dinding samping yang melengkung. (A. Blouin, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh M. Corbeau.)

utama akan mengganggu orang-orang yang duduk dekat pintu ke luar-masuk yang terbuka, tidak perduli berapa pun usaha telah dilakukan dalam pengendalian dengung ruang.

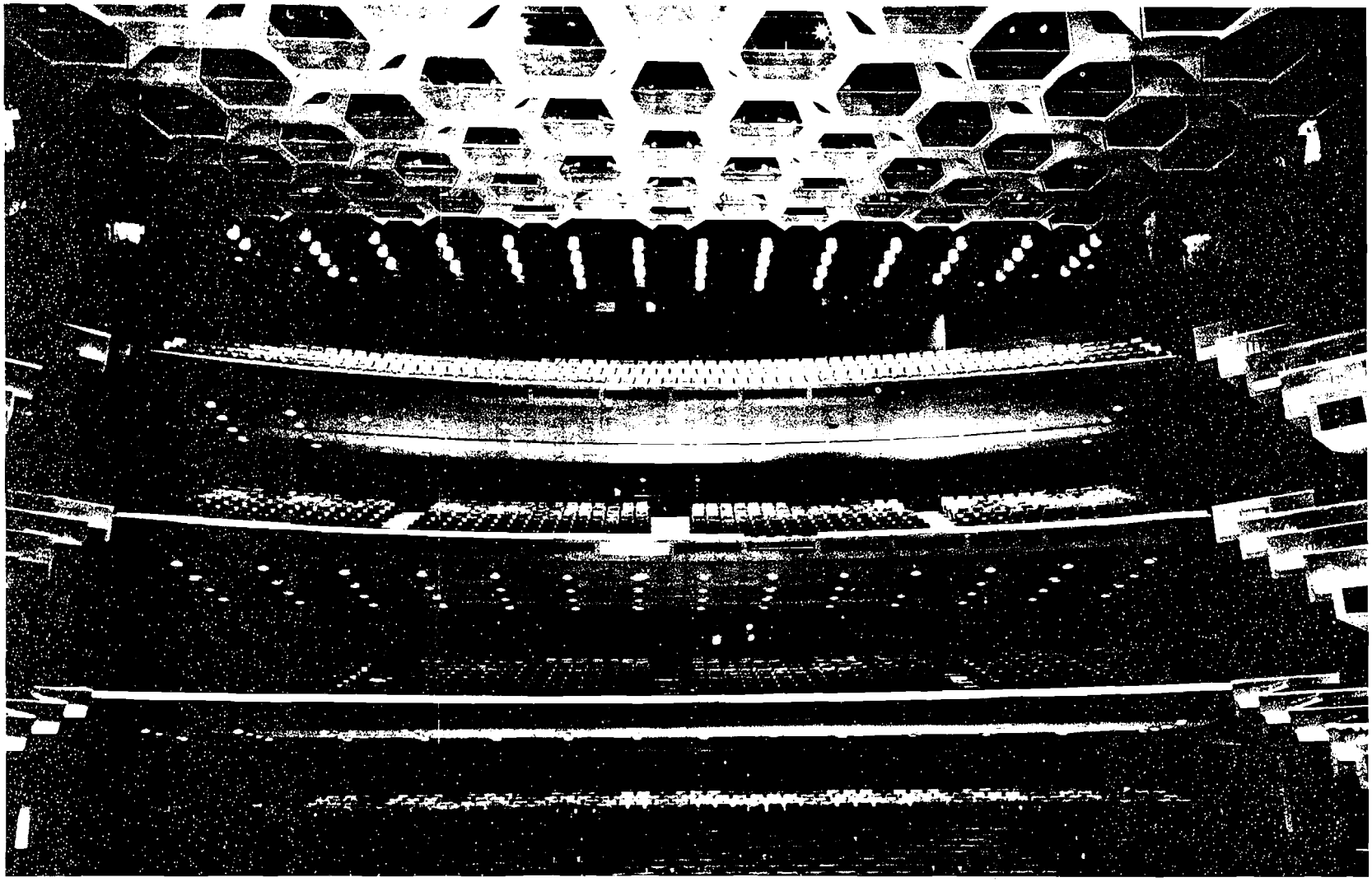
Efek ruang-ruang gandeng yang tidak diinginkan dapat diatasi dengan pemisahan ruang-ruang gandeng tersebut secara akustik, dengan menyediakan RT yang hampir sama atau dengan mengurangi RT kedua ruang.

6.5.6 **Distorsi** Distorsi adalah perubahan kualitas bunyi musik yang tidak dikehendaki, dan terjadi karena ketidak-seimbangan atau penyerapan bunyi yang sangat banyak oleh permukaan-permukaan batas pada frekuensi-frekuensi yang berbeda. Ini dapat dihindari bila lapisan-lapisan akustik yang digunakan mempunyai karakteristik penyerapan yang seimbang pada seluruh jangkauan frekuensi audio.

6.5.7 **Resonansi Ruang** Resonansi ruang, kadang-kadang disebut *kolorasi* terjadi bila bunyi tertentu dalam pita frekuensi yang sempit mempunyai kecenderungan berbunyi lebih keras dibandingkan dengan frekuensi-frekuensi lain. Cacat akustik ini lebih rawan dalam ruang kecil dibandingkan dengan ruang besar. Eliminasinya penting, terutama dalam rancangan studio radio dan rekaman, di mana bunyi ditangkap oleh mikrofon.

6.5.8 **Bayangan Bunyi** Gejala bayangan bunyi dapat diamati di bawah balkon yang menonjol terlalu jauh ke dalam ruang udara suatu auditorium (Gambar 6.17, gelombang bunyi 3). Ruang di bawah balkon semacam itu, dengan kedalaman yang melebihi dua kali tinggi harus dihindari, karena mereka akan menghalangi tempat duduk yang jauh, yang berada di bawah balkon, untuk menerima bunyi langsung dan bunyi pantul dalam jumlah yang cukup; dengan demikian menciptakan audibilitas yang buruk di bagian ini (Gambar 6.21).

6.5.9 **Serambi Bisikan (Whispering Gallery)** Frekuensi bunyi yang tinggi mempunyai kecenderungan untuk "merangkak" sepanjang permukaan-permukaan cekung yang besar, seperti kubah setengah-bola (Katedral St. Paul di London; Royal Theatre di Copenhagen). Suatu bunyi yang sangat lembut seperti bisikan yang diucapkan di dekat kubah tersebut secara mengherankan akan terdengar pada sisi yang lain. Serambi bisikan menyenangkan dan seringkali tidak merusak, tetapi hal ini tidak dapat dianggap sebagai sumbangan yang diinginkan bagi akustik yang baik.



Gambar 6.21 Penggunaan balkon-balkon dangkal di Salle Wilfrid Pelletier, Montreal dengan 3.000 tempat duduk menyebabkan seluruh tempat-tempat duduk di bawah balkon bebas dari bayangan akustik. (Affleck, Desbarats, Dimakopoulos, Lebensold, Michaud, dan Sise, arsitek; Bolt, Beranek, Newman, dan N. Pappas dan kawan-kawan, konsultan akustik. Foto oleh Studio Lausanne Co.)

6.6 Pengendalian Bising dan Getaran

Hal ini akan dibahas secara terperinci dalam Bagian III.

KEPUSTAKAAN

Majalah

Northwood, T.D.: "Acoustical Factors in Architectural Design", *J. RAIC*, Nopember 1954, halaman 397–399.
"Design for Hearing", *Progressive Architecture*, Mei 1959, halaman 143–205.
Doelle, L.L.: "Acoustic Finishes in Auditoria", *The Canadian Architect*, Maret 1961, halaman 71–75.
Newman, R.B., and W.J. Cavanaugh: "Acoustics", in J.H. Callender (ed.), *Time-saver Standards*, 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1966, halaman 636–641.
Doelle, L.L.: "Auditorium Acoustics", *Architecture Canada*, Oktober 1967, halaman 35–44.
McGuinness, W.J.: "Adjusting Auditoriums Acoustically", *Progressive Architecture*, Maret 1968, halaman 166.
Jordan, V.L.: "Room Acoustics and Architectural Acoustics Development in Recent Years", *Applied Acoustics*, Januari 1969, halaman 59–81.

Intisari

Northwood, T.D.: *Acoustical Factors in Architectural Design*, National Research Council, Ottawa, Technical Paper 23, Nopember 1954, 3 halaman.
Northwood, T.D.: *Room Acoustics: Design for Listening*, National Research Council, Ottawa, Canadian Building Digest 92, Agustus 1967, 4 halaman.

BAB
TUJUH

Rancangan Akustik Ruang Pidato

Dalam rancangan akustik auditorium, terutama yang digunakan untuk pidato, inteligibilitas harus diberi prioritas utama. Bila suatu ruang digunakan untuk pentas teater, penonton sepenuhnya berharap agar mengerti tiap kata yang diucapkan pemain. Demikian juga dalam ruang kuliah dan ruang kelas, bila misalnya diperkenalkan istilah-istilah baru atau bahasa asing diucapkan, kadang-kadang oleh guru yang tidak menguasai diksi, kondisi mendengar harus cukup baik sebaik kemampuan akustiknya.

Bunyi pembicaraan terdiri dari huruf hidup dan huruf mati, dijalin dari nada-nada yang menonjol ke dalam pola tersendiri yang kadang-kadang disebut *formants.* Formants ini, yang kebanyakan terdiri dari huruf hidup, membantu suara orang dengan karakteristik yang jelas, dan memberi kontribusi pada nada dasar pembicaraan. Huruf-huruf hidup menonjolkan kualitas alamiah pembicaraan. Namun inteligibilitas juga tergantung pada pengenalan bunyi konsonan (huruf mati) yang benar, yang biasanya merupakan bunyi pendek dengan frekuensi yang sangat tinggi dalam urutan yang cepat dan dengan daya akustik terbatas dibandingkan huruf hidup. Pemeliharaan huruf hidup dan mati itu penting untuk mencapai akustik pembicaraan yang disukai.

Segi-segi fisik dan akustik suatu auditorium, seperti ukuran dan bentuk, karakteristik dengung, dan kondisi bising yang ada, berpengaruh pada cara pembicara berkata-kata dan pada transmisi dan penangkapan kata-kata yang diucapkan dalam ruang.

Tanpa sistem penguat suara, dan makin besar auditorium, maka makin banyak usaha yang harus diberikan pembicara agar dirinya dapat dimengerti di tiap bagian ruang, terutama pada tempat duduk yang jauh.

Dengung yang tepat menguatkan kekerasan pidato, tetapi dengung yang berlebihan merusak inteligibilitas karena mengaburkan dan menutup suku kata yang baru diucapkan dengan dengung suku kata yang diucapkan lebih dahulu dan masih terdengar. Pada keadaan dengung semacam itu, seorang pembicara di samping terganggu, juga akan didorong untuk berkata-kata lebih lemah dan lambat dan lebih berartikulasi daripada biasanya.

7.1 Akustik Pembicaraan dalam Auditorium

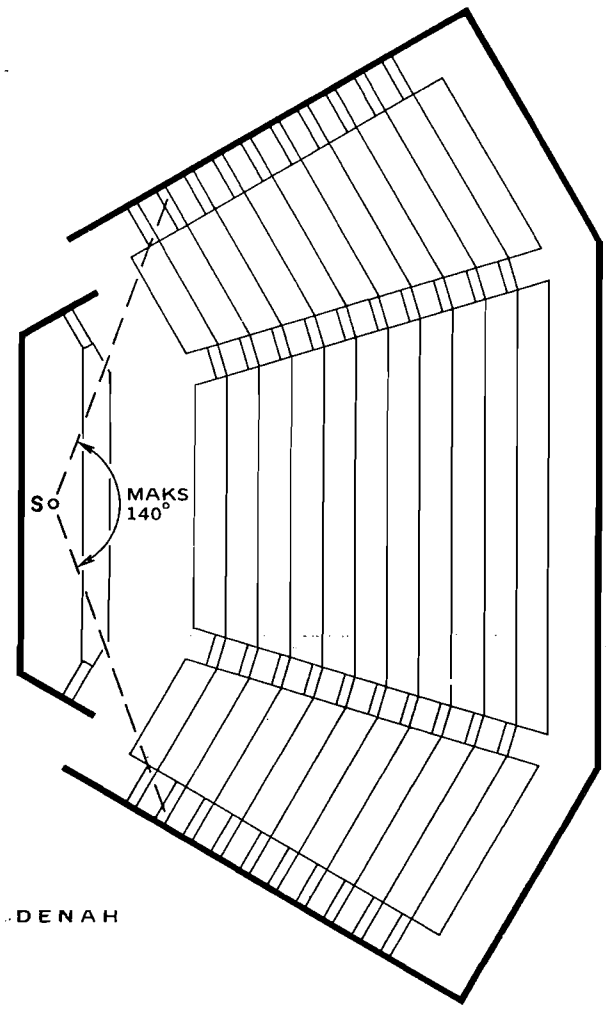
Untuk menyediakan derajat inteligibilitas yang diinginkan dan untuk memungkinkan seorang penonton dapat menghargai pengaruh kehalusan atau dramatik pembicara — aktor, pengkhotbah atau politikus — persyaratan umum yang dijelaskan dalam Bab 6 harus dipenuhi. Sebagai tambahan, perhatian khusus harus diberikan pada hal-hal berikut ini.

1. Jejak gelombang bunyi langsung harus sependek mungkin, agar mengurangi hilangnya energi bunyi di udara. Ini membutuhkan bentuk ruang yang ringkas (compact) dengan jarak yang pendek antara sumber bunyi dan pendengar dan dengan nilai volume per tempat duduk

sekitar 80 sampai 150 ft kubik (2,3 sampai 4,3 m kubik), sebaiknya lebih dekat dengan nilai yang rendah. Dari rumus RT ternyata bahwa dengan kondisi lain yang sama, makin rendah nilai volume per tempat duduk, makin kurang lapisan akustik yang dibutuhkan untuk menghasilkan RT yang sama.

2. Bunyi pembicaraan yang tak diperkuat, yang merambat secara langsung dari sumber ke pendengar hampir tak dapat dimengerti di atas jarak sekitar 30 sampai 40 ft (9 sampai 12 m). Karena itu pemantulan bunyi oleh permukaan pemantul dengan penundaan singkat perlu tiba di posisi pendengar dengan beda jejak tidak lebih dari sekitar 30 sampai 35 ft (9 sampai 10,5 m), sesuai dengan selang penundaan waktu sekitar 30 msekon.

3. Tempat duduk harus diatur sedemikian rupa hingga berada dalam sudut sekitar 140° dari posisi pembicara (Gambar 7.1). Ini diperlukan untuk melindungi bunyi pembicaraan frekuensi tinggi, yang akan hilang kekuatannya di luar sudut ini karena sifat keterarahannya. Dalam usaha pengadaan banyak bunyi langsung, elemen-elemen penghalang seperti kolom atau ruang di bawah balkon yang dalam, harus dihindari.



Gambar 7.1 Denah tempat duduk yang tepat di auditorium untuk pidato dengan tempat duduk dalam sudut sekitar 140° dari posisi pengeras suara S.

4. RT auditorium harus sedekat mungkin dengan nilai ideal seluruh jangkauan frekuensi audio, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.14. Namun seperti terlihat dalam gambar ini, perlu dicatat bahwa pengadaan RT yang pendek saja tidak menjamin kondisi mendengar yang baik dalam ruang yang digunakan untuk berpidato. Lapisan akustik yang digunakan dalam ruang harus mempunyai karakteristik penyerapan merata antara 200 sampai 8.000 Hz untuk mencegah penyerapan bunyi huruf hidup dan huruf mati yang berlebihan dalam jangkauan frekuensi ini.

5. Pengendalian bising adalah penting dalam rancangan akustik ruang yang digunakan untuk berpidato. Pada frekuensi dari 125 sampai 4.000 Hz inteligibilitas sangat dipengaruhi oleh perbandingan sinyal terhadap bising (signal-to-noise ratio – suatu istilah yang dipinjam dari teknik elektro), artinya perbandingan tingkat sinyal pembicaraan terhadap tingkat bising latar belakang atau ambien. Bila perbandingan sinyal terhadap bising cukup besar, maka inteligibilitas akan baik. Bila tingkat pembicaraan terlampau rendah, maka sebagian akan tenggelam dalam bising latar belakang dan inteligibilitas menjadi buruk. Sulit untuk menetapkan suatu kriteria yang gamblang untuk perbandingan sinyal terhadap bising yang ideal, karena bising dengan bermacam-macam karakteristik akan menutupi bunyi pembicaraan dengan cara yang berbeda pula, tidak saja tergantung pada tingkat intensitas bising latar belakang tetapi juga pada isi informasi. Sebagai contoh, bising latar belakang yang mengganggu, dapat terdiri dari pembicaraan (datang dari sumber luar), yang akan membuat sangat sulit untuk berkonsentrasi pada pembicaraan yang diberikan dalam suatu auditorium. Dalam kasus ini bising ambien yang mengganggu akan sangat mengganggu, tidak peduli betapa lembutnya bunyi pembicaraan yang masuk itu. Tingkat bising latar belakang yang dapat diterima pada bermacam-macam ruang terdapat dalam daftar di Bab 15.

Inteligibilitas pembicaraan dalam auditorium dapat ditentukan secara kuantitatif dengan percobaan artikulasi, yang akan dibahas dalam Bab 19.

7.2 Teater

Masalah-masalah akustik dalam rancangan arsitektur teater sandiwara bertambah terus-menerus karena perubahan-perubahan mendasar yang terjadi pada rancangan teater. Aktor, penyanyi tunggal, pemusik, pencipta tarian, produser, penata panggung dan teknisi teater, semua mengharapkan perubahan besar-besaran atau paling sedikit perubahan yang sungguh-sungguh dari seorang arsitek agar dapat memenuhi konsep-konsep baru tersebut. Penilaian persyaratan-persyaratan individual yang kadang-kadang bertentangan selama masa perancangan, menyebabkan lebih banyak tanggungjawab berada pada arsitek.

Dalam denah suatu auditorium teater pertimbangan-pertimbangan perancangan dan fungsi berikut ini akan mempengaruhi kondisi akustik:

1. Bentuk daerah penonton dan kapasitas tempat duduk.
2. Ukuran daerah pentas.
3. Jenis dan skala produksi yang dipertimbangkan dan prioritas penggunaan.
4. Hubungan penonton-pementas.

Kapasitas tempat duduk suatu auditorium biasanya ditetapkan dari hasil perundingan antara faktor ekonomi yang menekankan tempat duduk yang banyak, dan kepuasan penonton-pementas yang menempatkan keakraban di atas kapasitas yang besar. Makin besar kapasitas penonton, makin jauh jarak antara daerah pentas dan tempat duduk yang jauh sehingga makin sulit menyediakan kekerasan yang cukup bagi pidato tanpa sistem penguat untuk mencapai tempat duduk yang jauh ini.

Pementas yang banyak jelas membutuhkan daerah pentas dan daerah penonton yang lebih luas, yang selanjutnya menambah kesulitan untuk mengadakan energi bunyi langsung dan pantul dari tiap bagian daerah pentas ke tiap penonton.

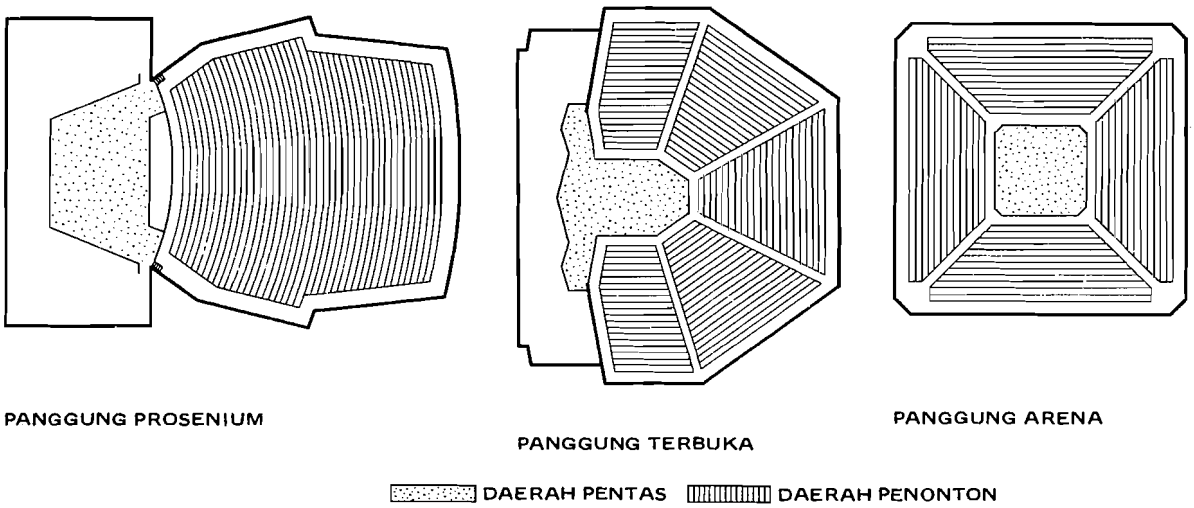
Bila suatu teater telah dapat dipakai, pemilik biasanya tidak ragu-ragu untuk menggunakannya untuk bermacam-macam hal, yaitu pentas panggung hidup, konser, balet, film atau pertemuan sosial. Tiap aktivitas/kegiatan mempunyai batasan visual dan akustiknya sendiri-sendiri. Sebagai contoh, penampilan teater hidup membutuhkan RT yang singkat dan penonton yang relatif sedikit. Suatu konser simfoni membutuhkan RT yang jauh lebih panjang tetapi dapat menampung penonton berapa pun. Disayangkan bahwa sasaran visual dan akustik ini harus diabaikan bila auditorium digunakan untuk berbagai penggunaan, jadi mengurangi jangkauan pengalaman akustik atau visual.

Hubungan daerah pentas (sumber bunyi) dengan daerah penonton (penerima), suatu faktor yang penting sekali dalam akustik teater, biasanya diatur sesuai dengan salah satu dari

empat bentuk panggung dasar berikut ini atau kombinasinya (Gambar 7.2):

1. Panggung proscenium.
2. Panggung terbuka.
3. Panggung arena.
4. Panggung yang dapat disesuaikan.

Dalam teater dengan *panggung proscenium* (juga disebut panggung kerangka gambar atau panggung tertutup) daerah pentas berada di salah satu ujung auditorium, dengan penonton yang mengamati lewat kerangka/bingkai bukaan proscenium. Bentuk panggung ini dikembangkan dari daerah pentas teater terbuka jaman Yunani dan Romawi kuno dan dirangsang oleh ketenaran opera, dengan permintaan yang terus bertambah untuk pengaturan panggung yang warna-warni. Ini memisahkan pementas dari penonton dan menyebabkan beberapa masalah akustik.



Gambar 7.2 Bentuk-bentuk dasar panggung yang digunakan dalam rancangan teater.

1. Karena penonton melihat daerah pentas dari satu sisi saja, maka sukarlah untuk menempatkan banyak penonton dekat dengan bukaan proscenium. Karena itu jarak antara aktor dan tempat duduk yang paling belakang seringkali sangat jauh; kepuasan akan kekerasan suara di tempat duduk yang jauh sukar diperoleh tanpa penguatan pembicaraan.

2. Lampu-lampu penerangan, jalan masuk yang banyak ke daerah pentas dan pengaturan panggung membuat sukar atau hampir tak mungkin untuk memperoleh ruang sekitar daerah pentas untuk menempatkan pemantul bunyi dalam jumlah yang besar dan cukup, yang penting bagi kekerasan yang cukup.

3. Sayap yang sangat diperlukan untuk melengkapi panggung yang besar dan peralatan penerangan yang penting untuk pengaturan produksi proscenium yang besar dan menarik, memboroskan terlampau banyak energi bunyi yang diciptakan di daerah pentas.

4. Dalam usaha menempatkan penonton yang banyak dan tidak terlalu jauh dari panggung, satu atau beberapa balkon dapat direncanakan. Ini membutuhkan ruang vertikal yang cukup banyak. Untuk alasan ini, lantai penonton yang paling bawah (ketinggian orkestra atau ruang bawah di gedung konser) biasanya tidak cukup dimiringkan, dan mengakibatkan kondisi visual dan akustik yang tidak baik di sana. Ketinggian yang besar ini menyebabkan RT yang panjang yang tak disukai. Balkon-balkon yang terlampau dalam juga menciptakan bayangan akustik.

Dalam *panggung akhir/ujung* (end stage), suatu pilihan lain di samping panggung proscenium, daerah pentas sama lebarnya dengan bagian depan daerah penonton. Di sini pemisahan yang diutamakan antara penonton dan pemain oleh lubang proscenium kurang tampak.

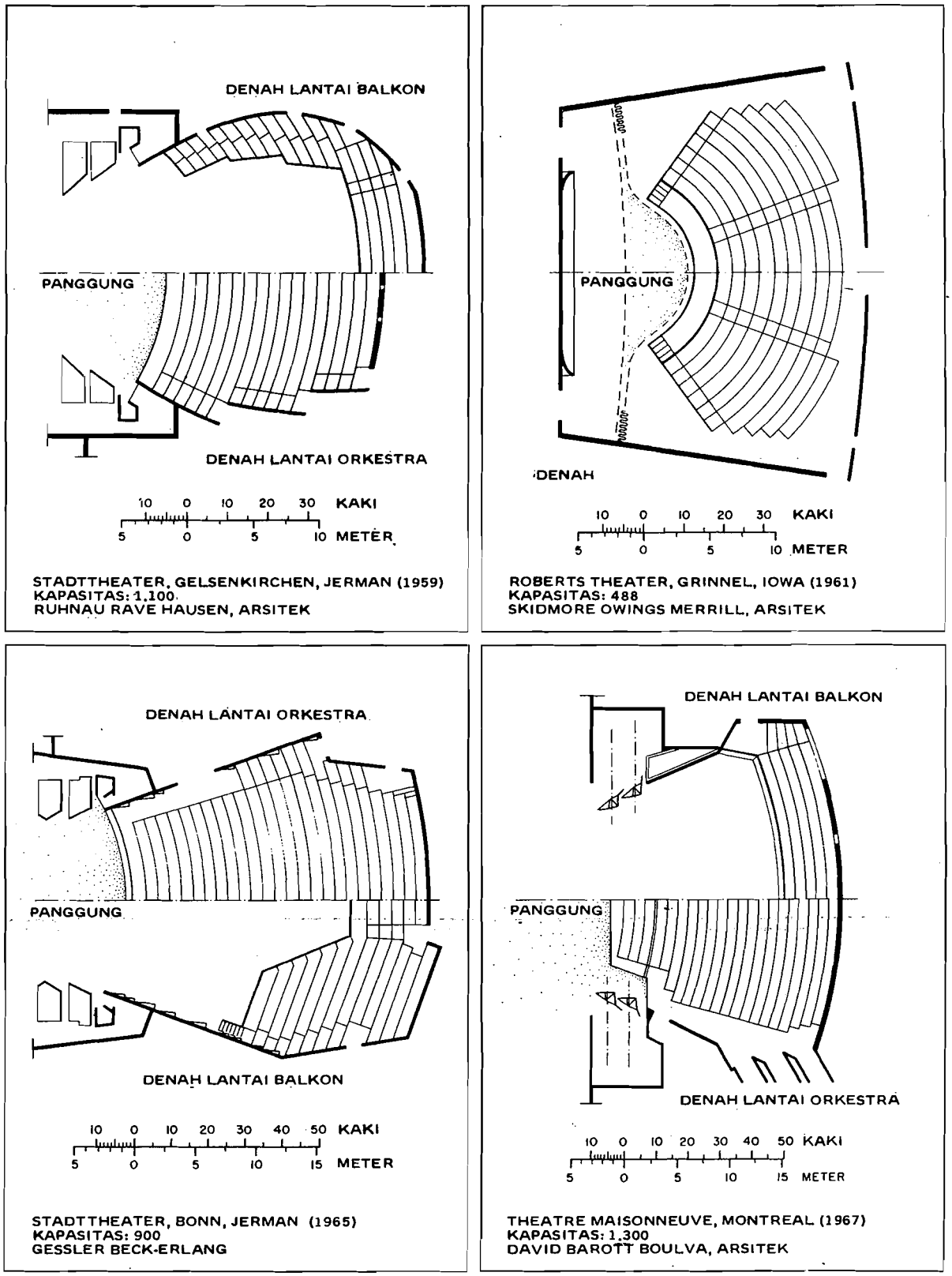
Gambar 7.3 menunjukkan contoh-contoh teater dengan panggung proscenium, dan Tabel 7.1 memuat beberapa teater dengan panggung proscenium atau panggung akhir. Gambar 7.4 dan 7.5 menunjukkan interior dua buah teater dengan panggung proscenium.

TABEL 7.1 Teater dengan panggung proscenium atau panggung akhir (Disusun secara kronologis)

Nama	Lokasi	Tanggal penyelesaian	Kapasitas tempat duduk
Nationaltheater	Mannheim, Germany	1957	1.200
Community Theater	Midland, Tex.	1957	400
Belgrade Theater	Coventry, England	1958	910
Stadttheater	Lünen, Germany	1958	765
Mermaid Theater	London, England	1959	508
Royalty Theater	London, England	1960	997
Community Theater	Western Springs, Ill.	1961	417
Civic Theater	Johannesburg, South Africa	1962	1.120
Ashcroft Theater	Croydon, England	1962	750
Stadttheater	Krefeld, Germany	1963	832
Congress Theater	Eastbourne, England	1963	1.678
Pheonix Theater	Leicester, England	1963	275
Playhouse	Nottingham, England	1963	756
New York State Theater, Lincoln Center	New York, N.Y.	1964	2.729
Playhouse	Oxford, England	1964	700
Nuffield Theater	Southampton, England	1964	500
Theater Center	Canberra, Australia	1964	1.200
Yvonne Arnaud Theater	Guilford, England	1965	568
University Theater	Manchester, England	1965	300
Stadttheater	Wuppertal, Germany	1966	750
Abbey Theater	Dublin, Ireland	1966	628
Imperial Theater	Tokyo, Japan	1966	1.950
Théâtre, Maison de la Culture	Amiens, France	1966	1.070
Stadttheater	Schweinfurt, Germany	1966	750
Théâtre Port-Royal	Montreal, Quebec	1967	800
Mechanic Theater	Baltimore, Md.	1967	1.800
Confederation Theater	Charlottetown, Prince Edward Island	1967	970
City Theater	Helsinki, Finland	1967	920
Théâtre, Maison de la Culture	Grenoble, France	1967	1.200
Northcott Theater	Exeter, England	1968	433
University College Theater	London, England	1968	599
Forum Theater	Billingham, England	1968	643
Abbey Theater	St. Albans, England	1968	240
Playhouse, Krannert Center	Urbana-Champaign, Ill.	1968	678
Gateway Theater	Chester, England	1968	500
Playhouse	Weston super Mare, England	1969	368
Theater, Eton College	Eton, England	1969	410
Juilliard Theater, Lincoln Center	New York, N.Y.	1969	1.026
Camberwell Civic Center	Victoria, Australia	1970	500
SGIO Theater	Brisbane, Australia	1970	619
Shaw Theater	Camden, England	1970	458
Theater, John F. Kennedy Center	Washington, D.C.	1971	1.100
Drama Center, Opera House	Sydney, Australia	1971	750

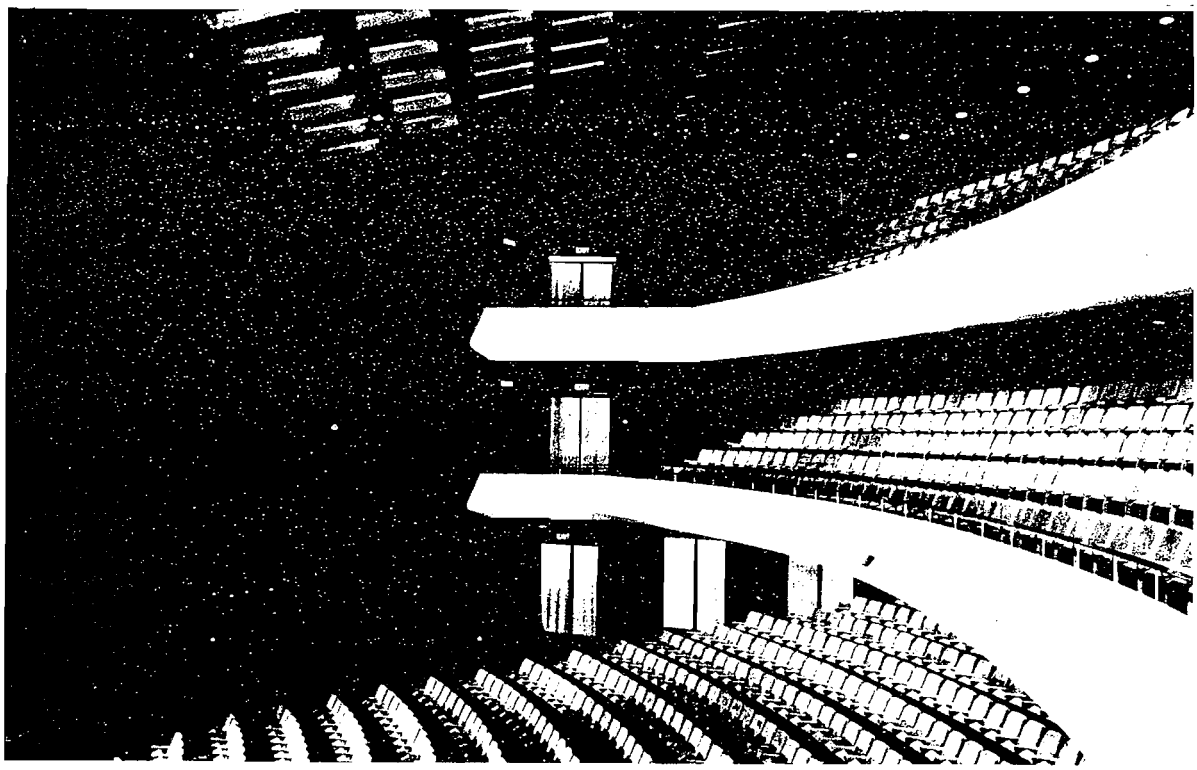
Dalam teater-teater dengan *panggung terbuka* (juga disebut panggung menonjol atau panggung Elizabeth), daerah pentas utama menghadap ke penonton dan dikelilingi oleh penonton pada beberapa sisi. Walaupun pemain dan penonton berada dalam ruang yang sama, beberapa adegan dapat juga berlangsung di belakang lubang bagian belakang tembok panggung. Berkembang dari panggung Elizabeth, bentuk panggung ini menciptakan hubungan yang akrab dan kadang-kadang menakjubkan eratnya antara pemain dan penonton dan menimbulkan beberapa masalah akustik yang serius.

Masalah pertama adalah masalah yang selalu ada pada letak panggung terbuka: penonton sampai batas tertentu mengelilingi daerah pentas, dan karena itu aktor, paling sedikit pada bagian-bagian tertentu dari sandiwara, membelakangi sebagian penonton. Seperti dijelaskan dalam Gambar 3.8, sifat kearahan bunyi pembicaraan mengurangi inteligibilitas sepanjang bagian-bagian penonton yang sesaat "diabaikan" oleh aktor. Di samping pengaruh visual dan

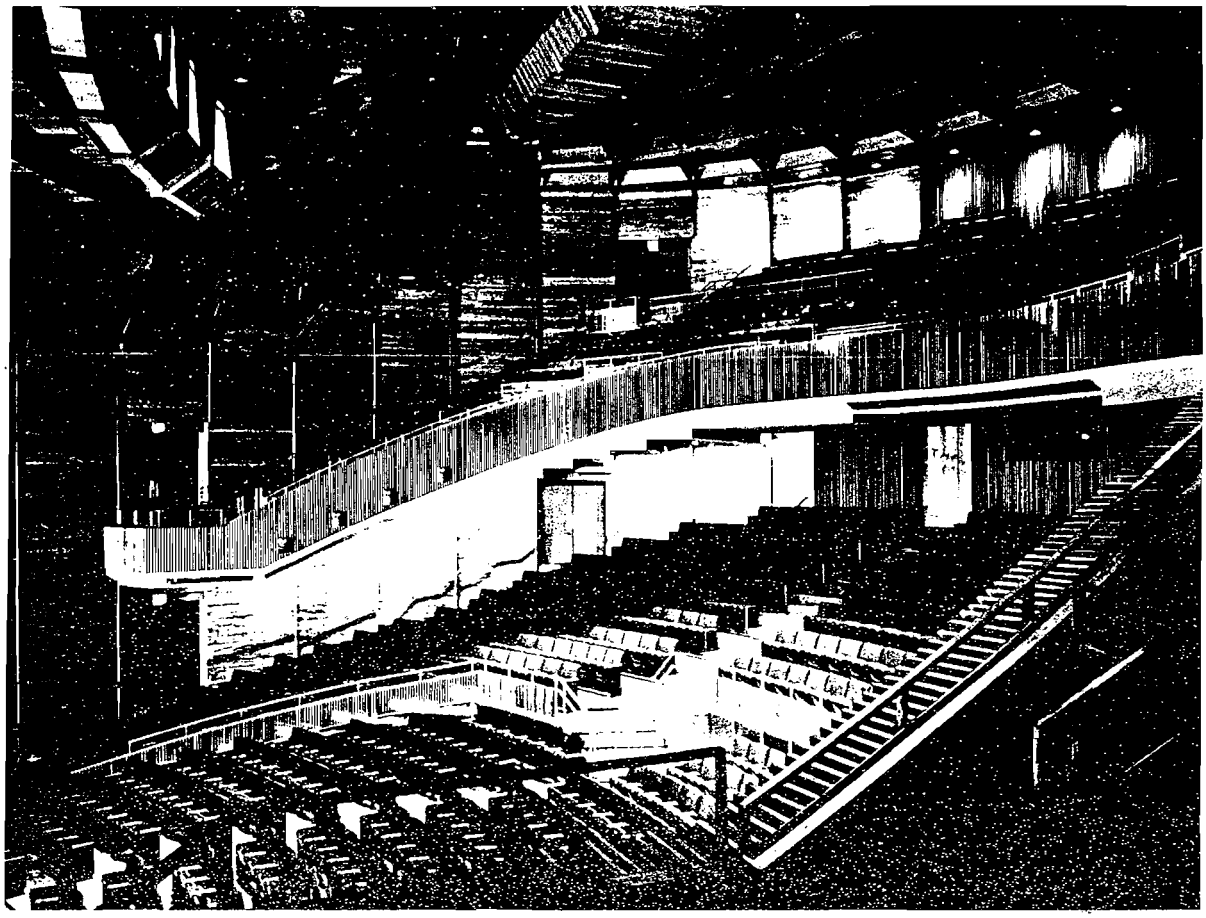


Gambar 7.3 Empat contoh teater dengan panggung prosenium.

akustik yang kurang disukai pada kondisi ini, hal ini juga menyebabkan bertambahnya tuntutan pada teknik berperan dari pementas dan membutuhkan pengalaman yang banyak dan kemampuan yang profesional, baik dari pementas maupun sutradaranya. Kesulitan lain muncul karena kebutuhan akan sistem peralatan lampu panggung yang rumit, jalan ke luar-masuk dan



Gambar 7.4 Interior Theatre Maisonneuve, Montreal (1967) dengan 1300 tempat duduk. (David, Barott, dan Voulva, arsitek; Bolt, Beranek, dan Newman, konsultan akustik. Foto oleh G. Lalumiere.)



Gambar 7.5 Auditorium Juilliard Theatre, Lincoln Center, New York City (1969) dengan 1.026 tempat duduk. (Belluschi, Catalano, dan Westermann, arsitek; H. Keilholz, konsultan akustik. Foto oleh E. Stoller dan Kawan-kawan).

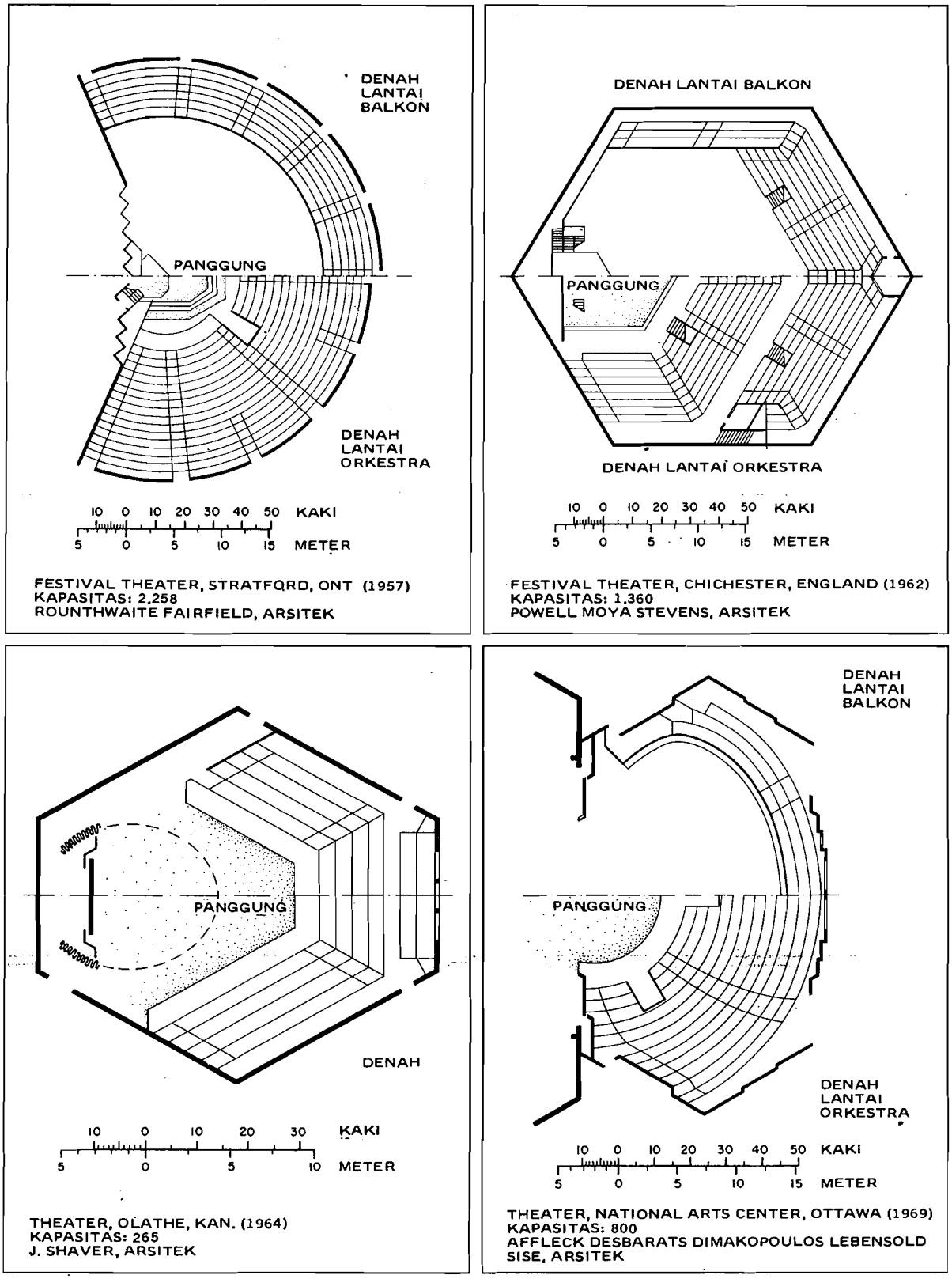
hal-hal lain di atas dan sekeliling panggung utama. Semua ini secara praktis mengakibatkan tidak mungkin melengkapi sekeliling panggung dengan dinding-dinding pemantul bunyi.

Di lain pihak, hubungan yang dekat antara pemain dan penonton mengurangi beberapa masalah akustik yang biasa ada pada teater dengan panggung proscenium. Keakraban yang bertambah pada panggung terbuka memungkinkan penyediaan tempat bagi banyak pengamat dekat dengan panggung: 1.000 sampai 2.000 penonton dapat didudukkan di sekitar panggung terbuka, tidak lebih dari 55 sampai 60 ft (17 sampai 19 m) dari panggung, dan mungkin tidak ada tempat duduk yang lebih jauh dari baris ke 15 sampai ke 18 dari depan. Dalam teater proscenium dengan kapasitas sama, jarak antara panggung dan tempat duduk terjauh dapat mencapai 100 sampai 120 ft (30 sampai 37 m).

Pada beberapa teater proscenium, daerah pada baris depan yang ditempati penonton dapat diubah menjadi panggung pinggir (apron stage), yang menyebabkan teater-teater ini mungkin juga digunakan untuk pementasan panggung terbuka (Gambar 7.6). Gambar 7.7 dan 7.8 menggambarkan dan Tabel 7.2 memuat beberapa contoh teater dengan panggung terbuka.

Panggung arena (juga disebut panggung pusat/tengah atau teater melingkar) berkembang dari amphiteater klasik dengan bentuk radial dan tentunya kembali pada lingkaran orang-orang sederhana yang berkumpul sekeliling penari-penarinya. Seperti pada panggung terbuka, bentuk ini menghilangkan pemisahan antara pemain dan penonton. Ketenaran panggung arena sebagian disebabkan biaya produksi yang rendah: dekor yang sangat sederhana yang dibutuhkan, dan tiap ruang dapat menampung jenis panggung ini dengan relatif mudah. Karena penempatan panggung arena adalah kelanjutan dari konsep panggung terbuka, masalah-masalah akustik yang berhubungan dengan panggung terbuka, seperti yang digambarkan di atas, berlaku juga untuk panggung arena.

Gambar 7.6 Interior auditorium Vivian Beaumont Theatre, dengan 1.140 tempat duduk, dengan panggung disposisi depan, Lincoln Center, New York City (1965). (E. Saarinen dan Kawan-kawan, aristek; J. Mielziner, perancang pembantu. Foto oleh E. Stoller dan Kawan-kawan.)



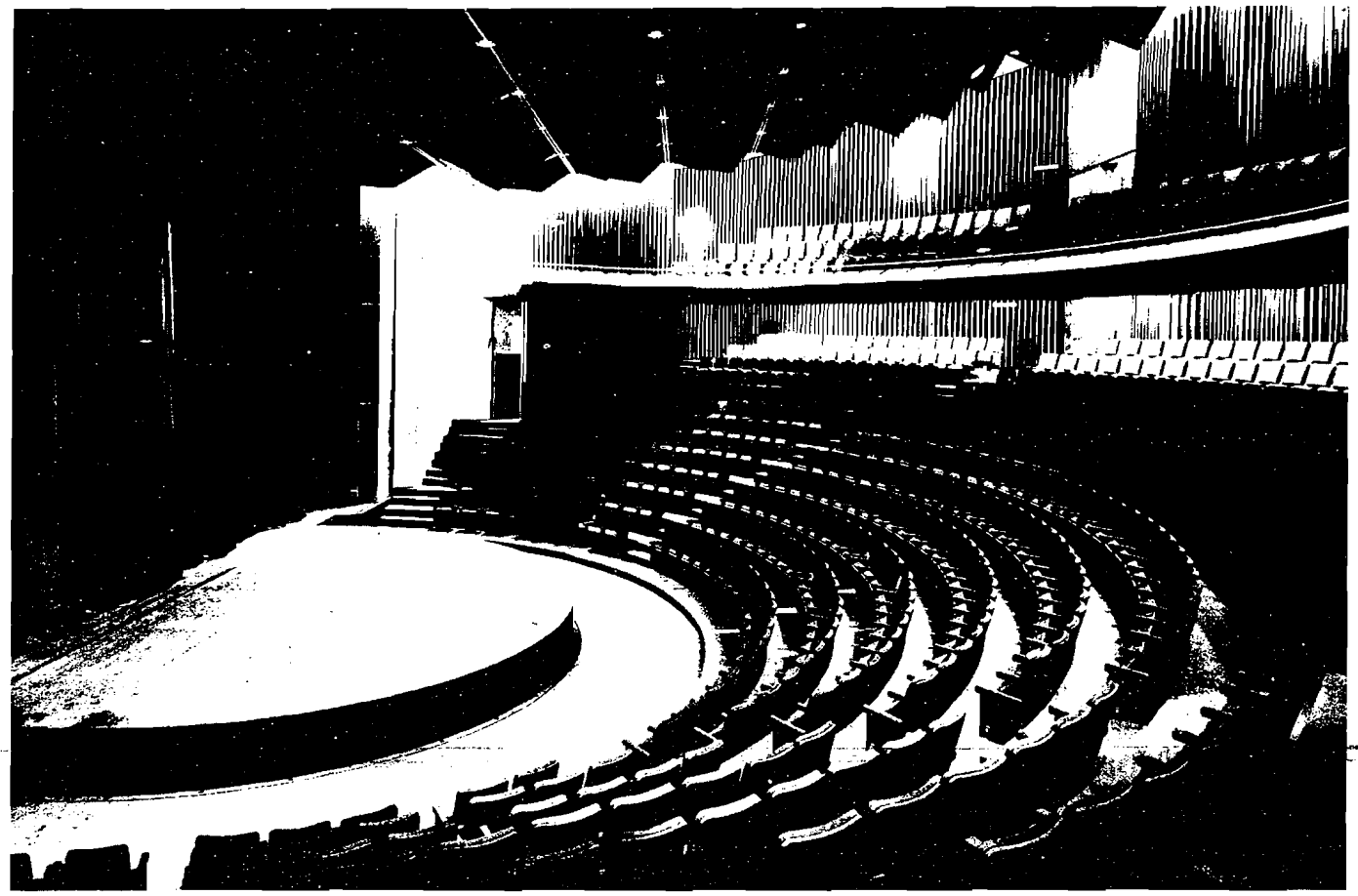
Gambar 7.7 Teater dengan panggung terbuka.

Gambar 7.9 menunjukkan contoh dan Tabel 7.3 menyebutkan beberapa teater dengan panggung arena.

Dalam ketiga jenis hubungan pemain-penonton yang digambarkan sejauh ini, daerah pentas dan daerah penonton kurang lebih tetap. Ini berarti bahwa dalam rangkaian bunyi-

TABEL 7.2 Teater dengan panggung terbuka (Disusun secara kronologis)

Nama	Lokasi	Tanggal penyelesaian	Kapasitas tempat duduk
Tyrone Guthrie Theater	Minneapolis, Minn.	1963	1.437
Theater	Atlanta, Ga.	1966	768
Alley Theater	Houston, Tex.	1967	800
Wehr Theater	Milwaukee, Wis.	1969	526
Gulbenkian Theater, University of Kent	Canterbury, England	1969	342
National Theater	London, England	1972	1.165

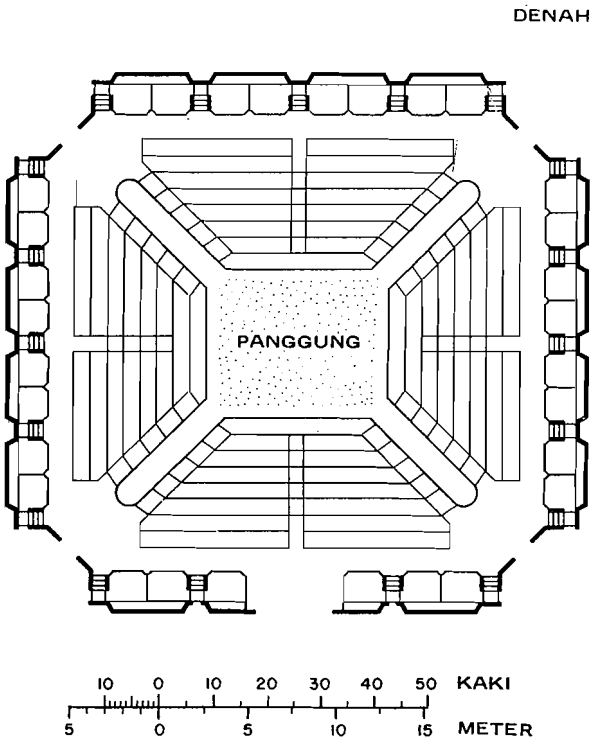


Gambar 7.8 Interior teater panggung terbuka dengan 800 tempat duduk, National Arts Center, Ottawa. (Affleck, Desbarats, Dimakopoulos, Lebensold, dan Sise, arsitek; N. Pappas dan Kawan-kawan, konsultan akustik. Foto oleh J. Evans.)

TABEL 7.3 Teater dengan panggung arena (Disusun secara kronologis)

Nama	Lokasi	Tanggal penyelesaian	Kapasitas tempat duduk
Ring Theater	Coral Gables, Fla.	1950	400
Teatro Sant'Erasmo	Milan, Italy	1953	232
Théâtre en Rond	Paris, France	1954	305
Arena Stage	Washington, D.C.	1961	752
Victoria Theater	Stoke on Trent, England	1962	343
Melodyland Theater	Anaheim, Calif.	1963	3.000
Octagon Theater	Bolton, England	1967	422
Arena Theater	Houston, Tex.	1967	300
Tupton Hall Theater	Derbyshire, England	1969	230

sumber-transmisi-jejak-penerima (Bab 1), posisi ketiga elemen ini hampir konstan. Dalam praktek teater masa kini, dengan kebutuhan keindahan yang terus-menerus berubah, ketiga jenis hubungan pemain-penonton ini sering dianggap terlalu tradisional dan mengikat. Perubahan fundamental makin perlu dibuat dalam hubungan antara aktor dan pengamat, tidak hanya untuk adegan tertentu tetapi beberapa kali selama pertunjukan. Perubahan ini dalam *teater yang dapat diubah* (atau teater bentuk banyak) dapat dicapai dengan tangan atau alat-alat elektro-mekanis yang dapat mengatur agar letak, bentuk, dan ukuran daerah pentas dan hubungannya dengan daerah penonton dapat diubah, hampir tanpa batas.



Gambar 7.9 Panggung arena di Washington, D.C., (1961, kapasitas; 752). (H. Weese dan Kawan-kawan, arsitek.)

Jelaslah, perubahan secara akustik (dalam rangkaian bunyi-sumber-transmisi-jejak-penerima) adalah perlu sesering perubahan posisi terjadi dalam hubungan antara daerah pemain dan daerah penonton. Sebagian dapat dicapai dengan pertolongan penyerap variabel (Bab 5), yaitu dengan mengubah permukaan-permukaan pemantul bunyi menjadi penyerap bunyi dan sebaliknya, sesuai kebutuhan. Namun harus ditekankan bahwa perubahan akustik jenis ini membutuhkan seorang ahli akustik dan profesional, yang jarang ada (karena alasan keuangan) dalam operasi rutin teater yang dapat diubah dan agak eksperimental. Karena itu disarankan agar teater berubah dibatasi pada ruang-ruang dengan kapasitas kurang dari 500 penonton.

Gambar 7.10 menggambarkan teater dengan panggung yang dapat diubah, dan Tabel 7.4 memuat daftar beberapa contoh.

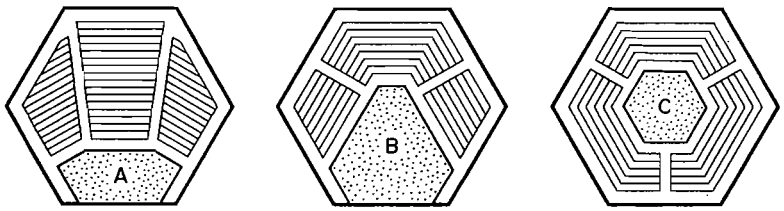
Dalam rancangan akustik teater, di samping persyaratan yang dijelaskan dalam Bab 6 dan bagian-bagian terdahulu dari bab ini, perhatian juga harus diberikan pada pengendalian bunyi eksterior dan bunyi interior (bising langkah-langkah kaki dan bising-bising mesin). Usaha ini akan menambah perbandingan-sinyal-terhadap-bising, artinya hal ini mengurangi pengaruh bising pengganggu dalam menutupi bunyi pembicaraan yang lembut.

Bila teater yang sama akan digunakan untuk produksi yang membutuhkan RT yang berbeda, maka disarankan penggunaan penyerap variabel sekeliling daerah penonton.

Dalam usaha pengadaan bunyi langsung yang cukup bagi tiap penonton, daerah pentas panggung proscenium biasanya dinaikkan sekitar 3 ft 6 inci (106 cm) di atas ketinggian lantai penonton baris pertama. Panggung terbuka dan arena dinaikkan kurang dari ini; kadang-kadang tingginya sama dengan ketinggian lantai baris pertama. Dalam hal ini, lantai penonton harus sangat dimiringkan, demi alasan visual dan akustik.

TABEL 7.4 Teater dengan panggung yang dapat disesuaikan (Disusun secara kronologis)

Nama	Lokasi	Tanggal penyelesaian	Kapasitas tempat duduk
Loeb Drama Center	Cambridge, Mass.	1960	588
Questors Theater	Ealing, London, England	1964	478
Crescent Theater	Birmingham, England	1964	288
Loretto Hilton Center	Webster Grove, Mo.	1965	1.200
Experimental Theater	Austin, Tex.	1965	350
Theater, Knox College	Galesburg, Ill.	1965	350
Northcott Theater	Exeter, England	1967	583
Experimental Theater	Grenoble, France	1967	538
Studio Theater, Maison de la Culture	Rennes, France	1968	500
Studio Theater, National Arts Center	Ottawa, Ontario	1969	300
Theater	Birmingham, Ala.	1969	370
Gulbenkian Theater, University of Hull	Hull, England	1969	200
Cockpit Theater	Marylebone, London, England	1970	177
Studio Playhouse, John F. Kennedy Center	Washington, D.C.	1971	510
Winter Garden Theater	London, England	1971	911



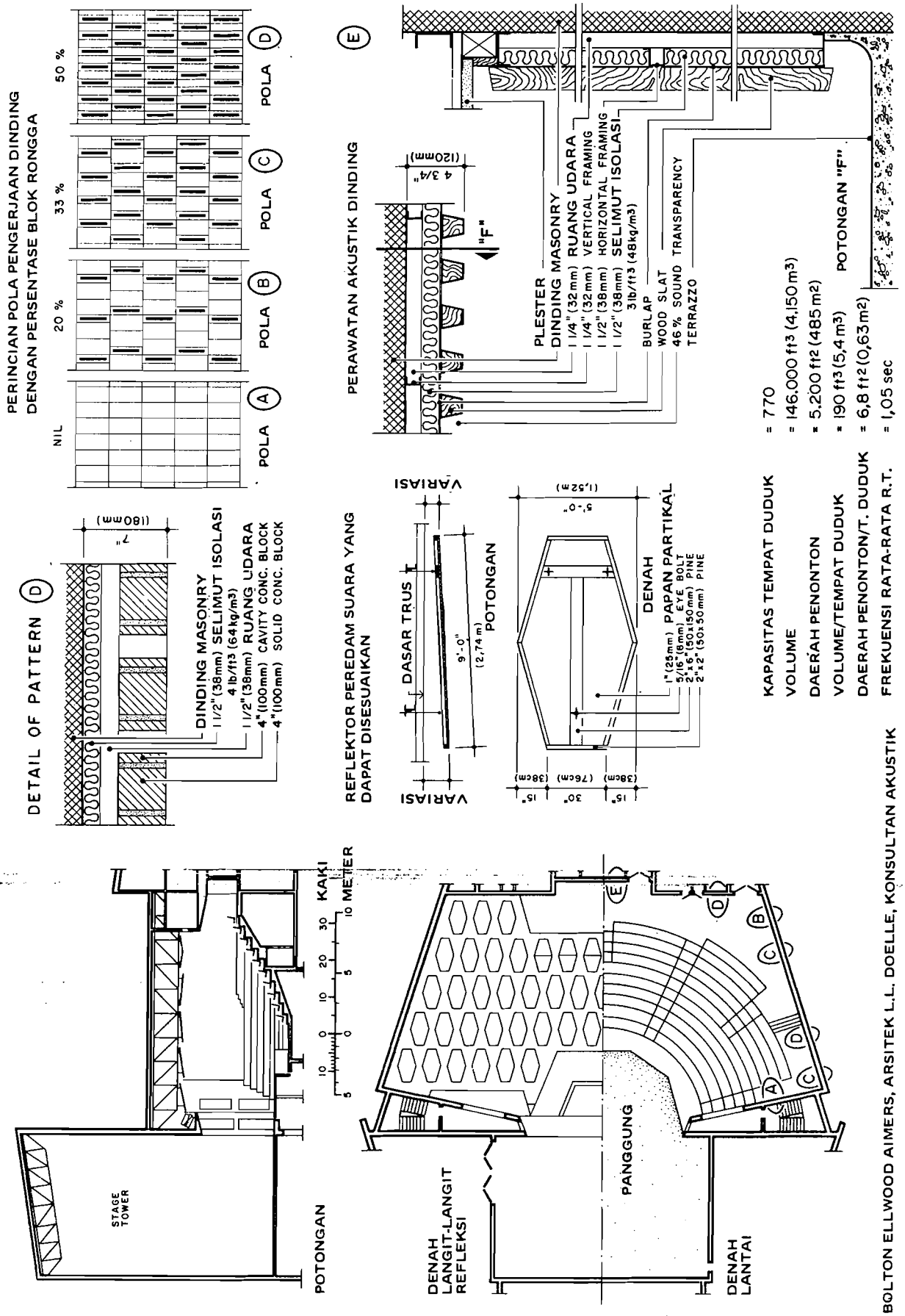
Gambar 7.10 Panggung yang dapat disesuaikan dalam auditorium teater yang digunakan sebagai (A) panggung ujung; (B) panggung terbuka; dan (C) panggung arena.

Suatu sistem penguat bunyi yang dipasang secara hati-hati, berkualitas sangat tinggi, hampir tak dapat dihindari (sangat diperlukan) dalam tiap teater dengan panggung terbuka atau arena agar mengurangi masalah akustik yang diciptakan oleh karakteristik keterarahan pembicaraan. Sistem semacam itu melibatkan rangkaian mikrofon sekeliling tepi panggung, digantung di atas atau tersembunyi sepanjang lantai panggung. Bila aktor menghadap ke daerah penonton tertentu, maka suaranya akan diterima oleh mikrofon-mikrofon yang diletakkan tepat di depannya dan diteruskan ke penguat suara yang memancarkan bunyi yang diperkuat secara elektronik ke arah yang berlawanan (yang telah diabaikan). Sistem penguat suara akan diperlukan tiap teater bila kapasitas penonton melebihi sekitar 800 sampai 1.000 orang.

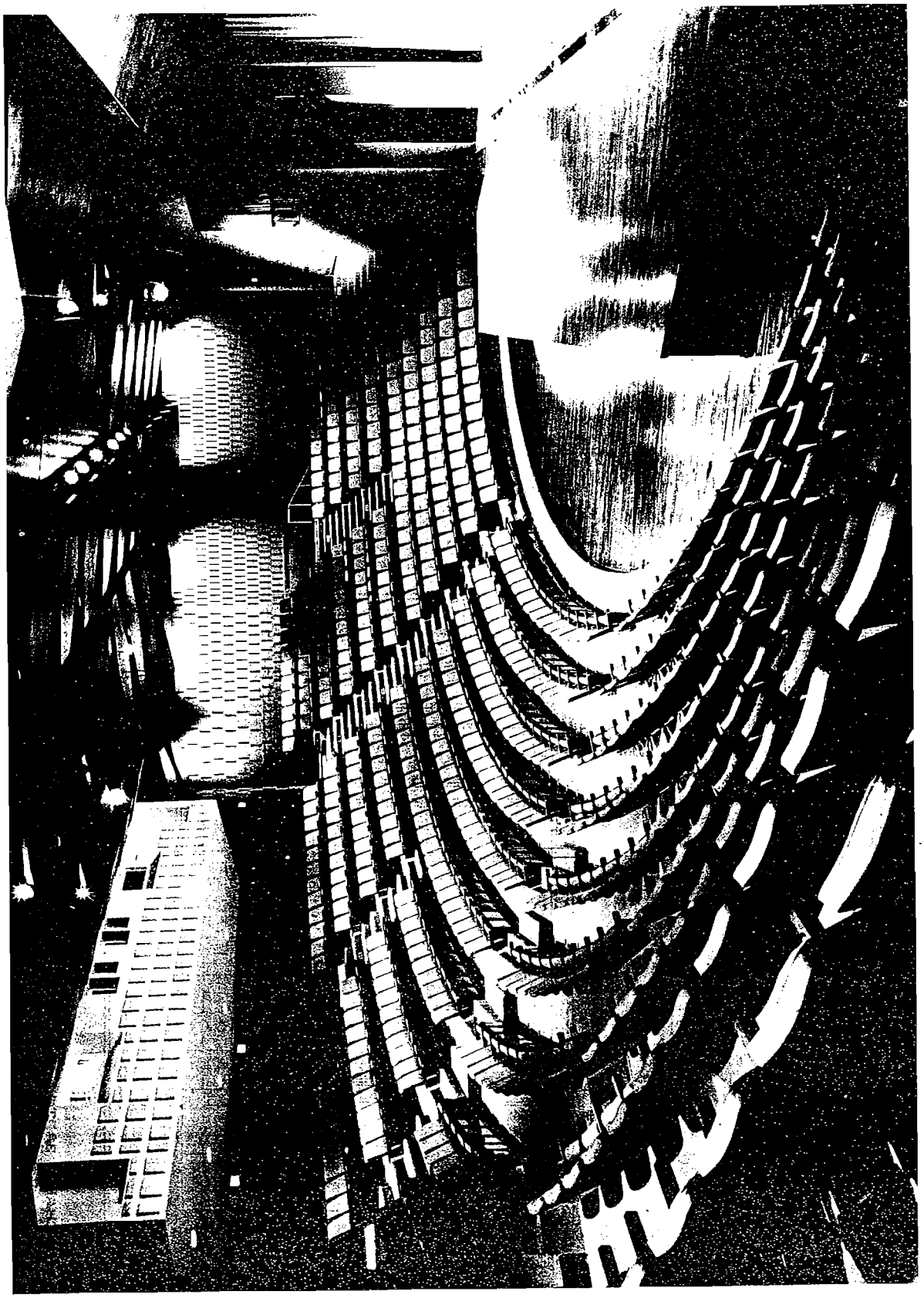
Gambar 7.11 dan 7.12 menggambarkan detail teater proscenium dengan 770 tempat duduk, Bishop's University, Lennoxville, Quebec.

7.3 Ruang Kuliah dan Ruang Kelas

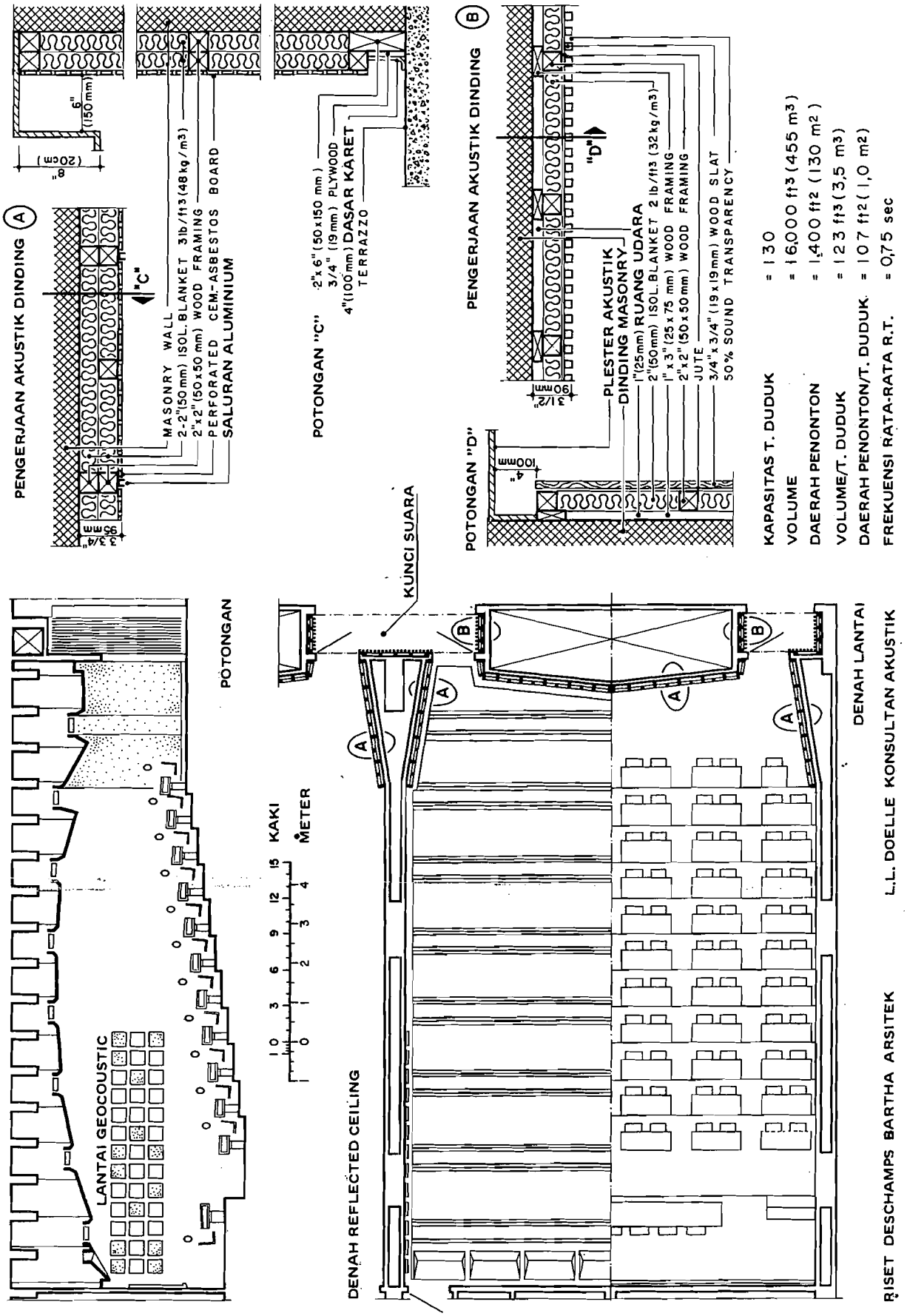
Ruang kuliah lembaga-lembaga pendidikan, kadang-kadang disebut *amphiteater,* dan biasanya menampung lebih dari 100 orang, harus dirancang sesuai dengan prinsip akustik yang relevan yang dibahas di atas agar menjamin kondisi yang disukai untuk inteligibilitas pembicaraan. Persyaratan untuk bentuk dan ukuran optimum ruang, pengadaan pemantulan bunyi dengan penundaan singkat yang cukup dan diarahkan dengan tepat, pengadaan RT yang singkat, eliminasi semua cacat akustik yang mungkin, dan pengendalian bising yang efisien, harus diamati dengan teliti. Persyatatan optik dan akustik dalam ruang kuliah sepenuhnya sama: pembagian dan bentuk ruang yang cocok akan menunjang kondisi melihat dan kondisi mendengar yang baik. Dalam perhitungan RT ruang kuliah, cukup beralasan untuk menganggap kira-kira se-



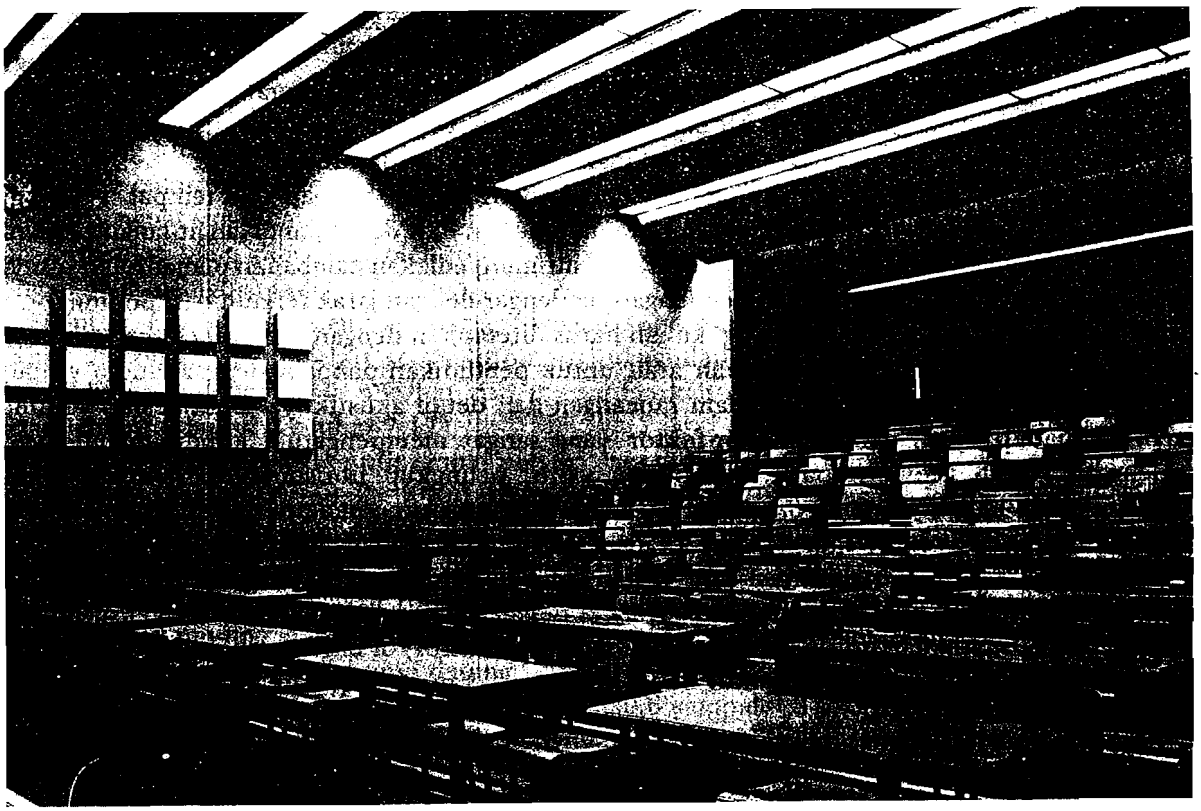
Gambar 7.11 Teater, Bishop's University, Lennoxville, Quebec (1968).



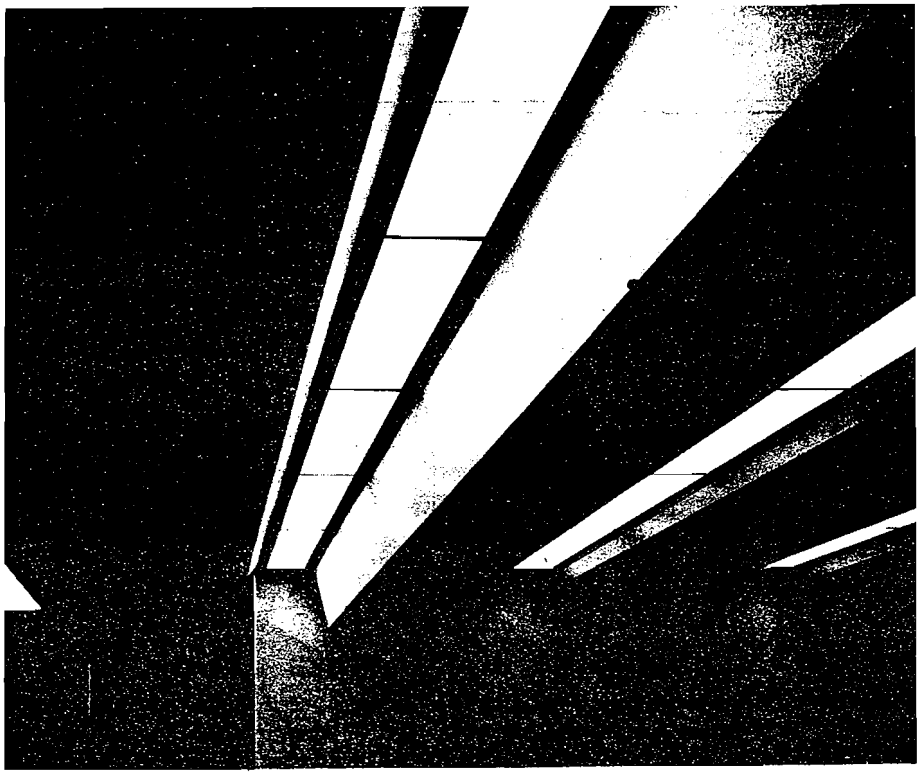
Gambar 7.12 Interior teater dengan 770 tempat duduk, Bishop's University, Lennoxville, Quebec. (Bolton, Ellwood, dan aimers, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Studio Bowe).



Gambar 7.13 Ruang kuliah, Universiti Laval, Quebec (1964).



Gambar 7.14 Interior ruang kuliah dengan 130 tempat duduk, di Universiti Lava, Quebec. (Fiset, Deschamps, dan Bartha, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Legare & Kedl.)



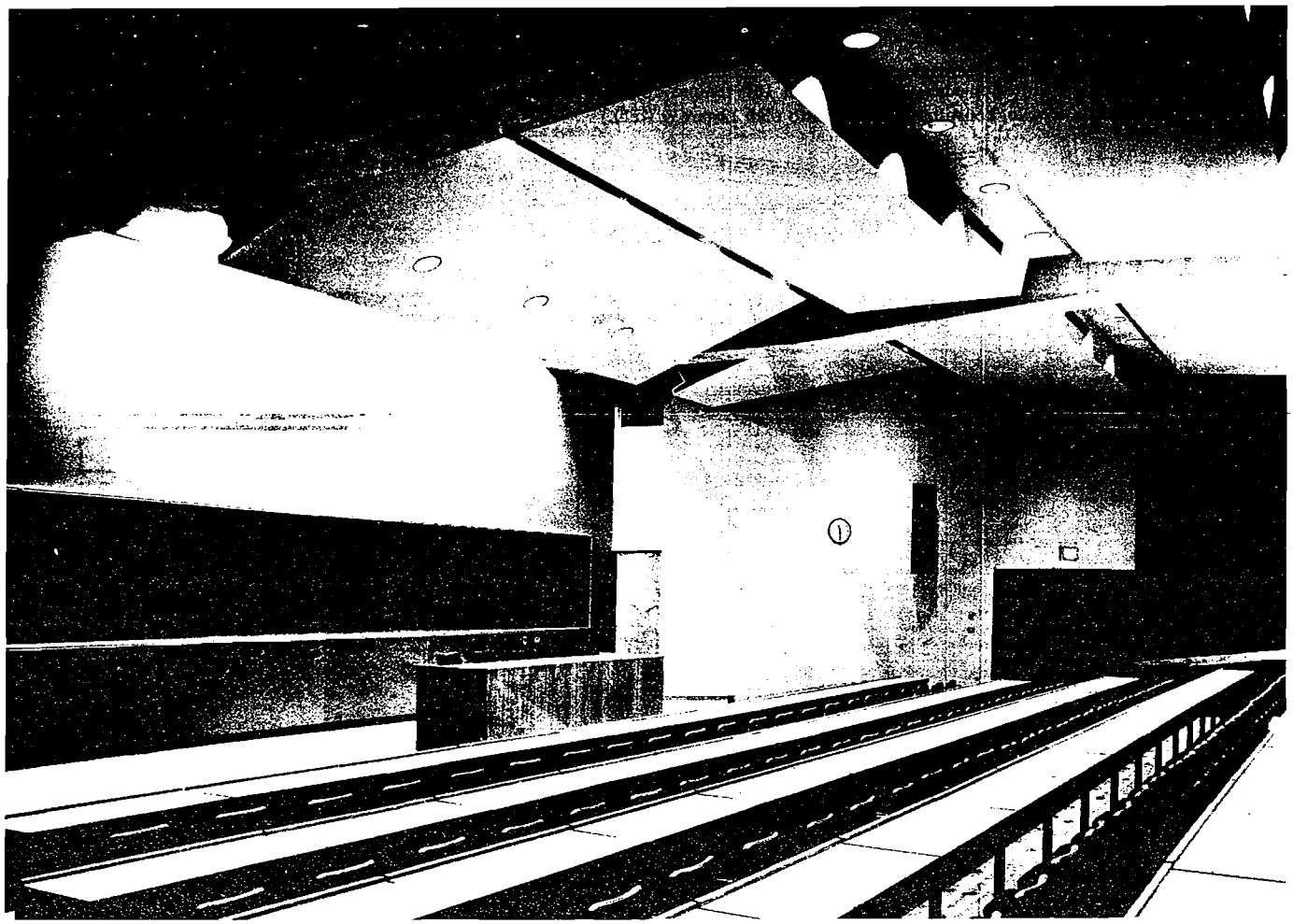
Gambar 7.15 Gambar dekat panel langit-langit pemantul dalam ruang kuliah di Gambar 7.13. (Foto oleh Legare & Kedl.)

tengah sampai dua pertiga kapasitas penonton, karena fluktuasi kehadiran penonton yang relatif besar.

Dalam usaha menghindari bising eksterior, ruang kuliah sekarang jarang dirancang dengan penerangan dan ventilasi alamiah. Ini membutuhkan langit-langit rumit, yang menggabungkan komponen mekanik dan penerangan dalam langit-langit pemantul bunyi.

Gambar 7.13 dan 7.14 menunjukkan detail ruang kuliah dengan 130 tempat duduk di Universite Laval, Quebec, dan Gambar 7.15 menunjukkan dari dekat panel langit-langit pemantul bunyi dalam ruang kuliah yang sama. Panel ini menyediakan tambahan pemantulan bunyi dengan waktu tunda singkat untuk pendengar-pendengar dengan jarak terjauh dari podium.

Tujuan sebenarnya suatu ruang kuliah harus ditetapkan dengan pasti sebelumnya karena ruang yang digunakan untuk peragaan atau untuk pendidikan pandang-dengar (audio visual) membutuhkan perhatian khusus dalam rancangan dan detail akustiknya. Bentuk dan volume ruang kuliah pandang-dengar, faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kondisi mendengar, dipengaruhi oleh geometri pandangan ruang yaitu, pelingkup horisontal dan vertikal garis pandang yang baik. Geometri pandangan, sebaliknya tergantung pada peralatan yang akan digunakan (layar proyektor film depan terhadap belakang, overhead proyektor, proyektor televisi, unit perekam dan reproduksi bunyi, kamera pembidik televisi, dan lain-lain). Integrasi elemen tambahan tertentu seperti bangku, meja peragaan, papan tulis, layar proyeksi, mikrofon, pengeras suara, dan unit pengendali-jauh (remote control) di bagian depan ruang kuliah ke dalam sistem dinding ruang pemantul bunyi tentunya akan membutuhkan perhatian terbesar sejak semula (Gambar 7.16).



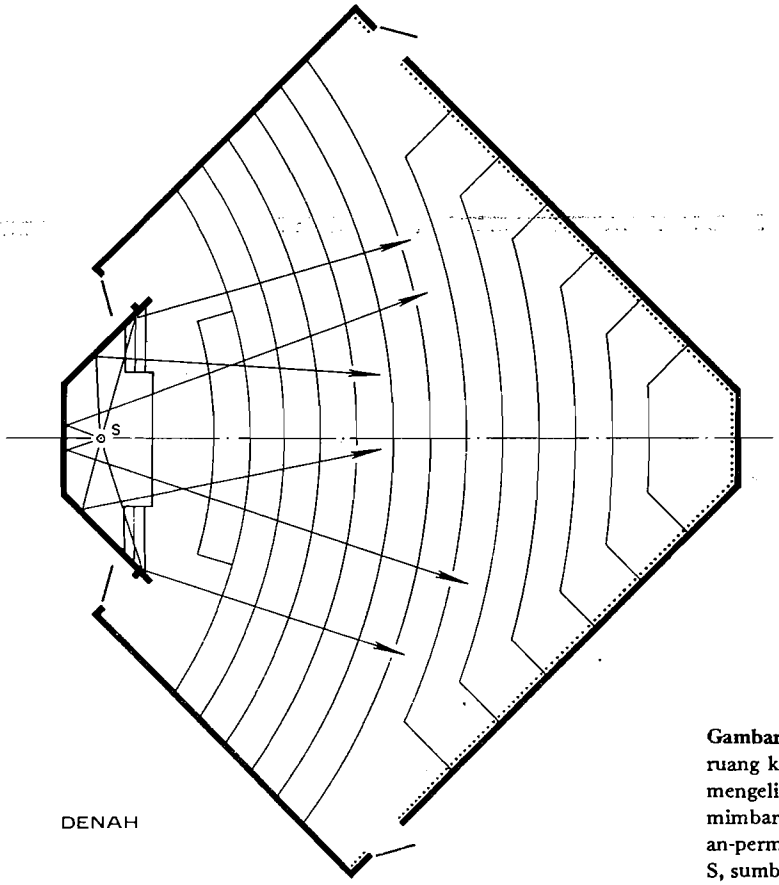
Gambar 7.16 Persyaratan struktural, mekanis, listrik, pandang-dengar dan akustik yang dipadukan di bagian depan ruang kuliah dengan 350 tempat duduk, Universite de Montreal. (Beauvais dan Lusignan, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Studio Bowe.)

Ruang kuliah dengan volume mencapai sekitar 15.000 sampai 20.000 ft kubik (425 sampai 570 m kubik) atau dengan kapasitas penonton sekitar 150 sampai 200 orang, tidak akan membutuhkan sistem penguat bunyi bila rancangan akustiknya didasarkan pada prinsip dan saran-saran yang telah dibahas sejauh ini. Dalam tiap kasus, penggunaan sistem penguat bunyi dalam ruang kuliah harus dihindari sepanjang ukuran ruang memungkinkan guru mengeluarkan suara yang cukup dari depan sampai ke tiap muridnya tanpa penguat. Secara psikologis penggunaan penguat suara dalam ruang kuliah akan memisahkan guru dari murid karena pertanyaan dan komentar yang diberikan oleh murid (tidak dilengkapi mikrofon) tidak akan dimengerti dengan baik oleh guru tadi.

Untuk ruang kuliah empat persegi dengan kapasitas sedang, disarankan denah tempat duduk diagonal. Hal tersebut secara otomatis menghilangkan sifat paralel yang tak disukai antara dinding-dinding pada mimbar dan memanfaatkan dinding depan yang dimiringkan sebagai pemantul bunyi (Gambar 7.17).

Ruang kelas dengan bentuk empat persegi, lantai datar, dan daerah pendengar yang biasanya berkisar antara 600 sampai 1.000 ft persegi (56 sampai 93 m persegi) jarang menimbulkan masalah akustik yang serius. Dinding belakang yang berhadapan dengan guru, walaupun tidak diberi lapisan akustik, tidak menyebabkan cacat akustik yang dapat didengar (seperti gema atau pemantulan dengan waktu tunda yang lama), karena ukuran ruang kelas kecil, dan papan bulletin, meja dinding dan rak buku yang ditanam serta lemari-lemari menghamburkan dan menyebarkan sebagian besar bunyi datang.

RT ruang kelas yang penuh haruslah sekitar 0,6 sampai 0,8 sekon pada frekuensi tengah, dan tergantung pada volumenya. Dalam kebanyakan kasus persyaratan ini dipenuhi bila ruang sedang dipakai, diberi perabot yang baik, yaitu rak-rak yang ditanam, papan bulletin, lemari dan lain-lain, dan bila panel bangunan yang ringan, siap-pakai (plaster board, konstruksi dinding kering/dry-wall construction, langit-langit gantung), daerah-daerah dengan kaca besar, lampu-lampu penerangan dan lain-lain dipasang dalam ruang kelas. Bila lapisan penyerap tambahan diperlukan, maka ia harus dipasang sepanjang tepi langit-langit atau di bagian atas din-



Gambar 7.17 Denah tempat duduk diagonal dalam ruang kuliah segiempat yang kecil, secara otomatis mengeliminasi kesejajaran antara dinding-dinding di mimbar dan memanfaatkan dengan baik permukaan-permukaan pemantul bunyi yang dimiringkan; S, sumber bunyi.

ding-dinding samping dan belakang. Tidak peduli berapa lapisan penyerap tambahan dibutuhkan dalam ruang kelas, bagian tengah langit-langit harus selalu dijaga agar memantul, sehingga dapat mengadakan distribusi energi bunyi merata, dan berasal dari tiap bagian ruang.

Aspek akustik suatu rancangan ruang kelas pengajaran berkelompok dan auditorium yang dapat dibagi-bagi dibahas dalam Bab 17.

7.4 Ruang Pertemuan dan Ruang Kongres

Pada penggunaan ruang pertemuan dalam bangunan pendidikan (auditorium sekolah) atau bangunan besar lain (kantor atau pabrik) dan dalam ruang kongres, prioritas biasanya diberikan pada acara yang khusus berhubungan dengan bunyi seperti kuliah, diskusi panel, simposium, teater amatir, perdebatan, pertemuan kejuruan dan politik, dan kongres. Semua fungsi ini terutama membutuhkan inteligibilitas kata-kata yang diucapkan. Dalam rancangan akustik auditorium-auditorium ini, penggunaan tempat duduk empuk dan lorong-lorong antar tempat duduk yang berkarpet serta kompromi RT yang wajar (dekat dengan persyaratan pidato) disarankan. Biasanya dalam menampung penonton yang banyak, ruang selalu harus dilengkapi dengan sistem penguat pembicaraan berkualitas tinggi, yang mampu menjangkau seluruh daerah tempat duduk dengan merata.

7.5 Ruang Konperensi, Ruang Sidang dan Kamar untuk Pemerintah Daerah serta Pemerintah Pusat

Dari sudut pandangan akustik, auditorium di mana kegiatan administratif, debat, peradilan dan legislatif berlangsung, membutuhkan persyaratan-persyaratan berikut yang sama: inteligibilitas pembicaraan yang tinggi harus mendapat prioritas utama, kondisi mendengar yang istimewa dibutuhkan karena pembicaraan berasal dari posisi-posisi yang berbeda dalam ruang.

Kebutuhan akan nilai volume per tempat duduk yang rendah, yang dalam Bab 6.2 disarankan 80 sampai 150 ft kubik (2,3 sampai 4,3 m kubik), sayangnya dalam kebanyakan ruang-ruang ini bertentangan dengan sasaran untuk mendapatkan interior yang anggun dan mengesankan. Bahkan, dalam ruang konperensi dan ruang pengadilan dengan langit-langit yang relatif rendah, pencapaian nilai volume per tempat duduk yang kecil praktis tak mungkin. Dalam ruang parlemen nilai ini sering mencapai 350 sampai 500 ft kubik (10 sampai 14 m kubik) untuk jumlah pengunjung sedikit, keadaan yang tidak jarang terjadi dalam sejarah pertemuan badan legislatif. Dalam kondisi semacam itu dapat diharapkan inteligibilitas pembicaraan yang agak rendah.

Pengaturan tempat duduk jelas berbeda dalam ruang-ruang ini sesuai dengan bagan arsitektur, kapasitas dan tujuan ruang; namun penonton yang berperan-serta harus saling berhadapan, sampai batas-batas memungkinkan. Karena daerah penonton bentuk setengah lingkaran dan bentuk tapal kuda paling baik dalam memenuhi persyaratan ini, perhatian harus diberikan pada eliminasi pemantulan balik dari belakang dan pemusatan bunyi oleh permukaan batas yang melengkung.

Di samping hal-hal yang telah dibahas dalam rancangan akustik ruang konperensi, ruang pengadilan dan kamar-kamar untuk pemerintah daerah dan pemerintah pusat, persyaratan-persyaratan berikut harus diperhatikan dengan teliti:

1. Pendayagunaan terbesar dalam luas lantai dan volume.
2. Ketinggian langit-langit yang minimum.
3. Pengaturan langit-langit pemantul dan dispersif.
4. Tempat duduk dengan kemiringan curam atau bertangga (stepped) dan mimbar yang dinaikkan.
5. RT pendek seperti yang dibutuhkan oleh auditorium untuk pidato, khususnya bila rekaman suara dilakukan dalam ruang, misalnya dalam ruang sidang.
6. Lapisan lantai empuk, terutama sepanjang lorong antara tempat duduk.
7. Tempat duduk yang tetap dan sangat menyerap (dilapisi bahan empuk).

8. Pemilihan sistem penguat pembicaraan berkualitas tinggi sehubungan dengan volume ruang.

9. Penghindaran bising eksterior secara sempurna, dilihat dari kenyataan bahwa auditorium-auditorium ini biasanya ditempatkan di bagian kota yang terbising.

10. Pengadaan tingkat bising latar belakang yang rendah (Bab 15), terutama bila tidak akan digunakan sistem penguat suara.

Bila auditorium-auditorium ini dilengkapi dengan ruang untuk kehadiran masyarakat, maka harus dipilih bentuk daerah tempat duduk yang terpisahkan dengan baik (serambi) dari daerah penonton utama. Daerah masyarakat/umum ini secara akustik harus diatur se "mati" mungkin dengan lapisan akustik penyerap yang tinggi di mana-mana, lantai berkarpet, dan tempat duduk yang dilapisi bahan empuk.

7.6 Arena dan Stadion Besar

Rancangan akustik arena dan stadion besar dimasukkan di sini karena walaupun biasanya banyak sekali kegiatan yang berlangsung di tempat-tempat ini, pencapaian inteligibilitas kata-kata yang diucapkan yang ditransmisikan lewat sistem penguat suara adalah penting.

Kegiatan yang berlangsung dalam auditorium-auditorium ini sering menghasilkan bising yang hebat, yang tidak hanya akan mengganggu pengikut dan pengamat dalam ruang tersebut tetapi juga merupakan sumber-sumber pengganggu yang tak disukai oleh ruang yang berdekatan. Karena itu lapisan-lapisan akustik yang digunakan dalam auditorium ini harus memenuhi dua tujuan: mereka harus menyebabkan RT yang pendek dan pada saat yang sama mereka harus mengurangi tingkat bising yang ada dalam ruang. Lapisan-lapisan akustik yang dipasang akan menunjang pengurangan bising dalam ruang saja dan tidak akan mencegah tembusnya bising ke daerah-daerah yang berdampingan. Masalah insulasi bunyi harus dipecahkan secara tersendiri. Ini dapat dicapai dengan mengelilingi ruang yang bising ini dengan penghalang/tembok yang menyediakan insulasi yang cukup terhadap bising dan getaran yang dikeluarkan dalam ruang atau dengan menempatkan auditorium yang bising sejauh mungkin dari ruang-ruang yang membutuhkan lingkungan yang tenang. Cara-cara pengendalian bising lewat perencanaan akustik yang baik akan dibahas dalam Bab 13.

Karena kebutuhan fungsional, permukaan-permukaan batas yang berhadapan dari auditorium ini biasanya sejajar, dan sering menyebabkan gejala akustik yang merusak, seperti dengung yang berlebihan dan gaung. Karena penyimpangan yang nyata dari bentuk ruang empat persegi jarang dibenarkan dalam auditorium-auditorium ini, distribusi bahan penyerap bunyi yang tepat dan penggunaan permukaan tak teratur yang banyak (elemen bangunan yang dibiarkan telanjang, ceruk (recesses), pemiringan, gerigi, dan lain-lain) adalah penting sekali.

Arena-arena yang besar (stadion besar/coliseum) seringkali dibangun untuk digunakan bagi jangkauan acara yang beranekaragam dan untuk menampung penonton yang banyak. Dalam kasus-kasus semacam itu, bermacam-macam persyaratan akustik (seringkali bertentangan) harus dipadu menjadi konsep tunggal, dan menghasilkan kompromi wajar yang terbaik. Auditorium-auditorium akbar ini terlalu besar untuk mengadakan kondisi mendengar yang memuaskan bila bunyi tidak diperkuat. Karena itulah pemasangan sistem penguat bunyi, yang akan menghasilkan jangkauan bunyi yang merata dan bunyi yang tidak didistorsi di tiap bagian daerah penonton, tidak dapat dihindari dan sangat diperlukan.

KEPUSTAKAAN

Buku

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, bab 3.

Burris-Meyer, H., and E.C. Cole: *Theaters and Auditoriums*, 2nd ed., Reinhold Publishing Corporation, New York, 1964, 376 halaman.

Duncan, C.J. (ed.): *Modern Lecture Theaters*, Oriel Press, Ltd., Newcastle upon Tyne, 1966, 340 halaman.

Nicoll, A.: *The Development of the Theaters*, 5th ed., George G. Harrap & Co., Ltd., London, 1966, 292 halaman.

Theater Planning, bagian 1 dan 2, dicetak ulang dari *The Architects' Journal*, distributed by the Association of British Theater Technicians, London, 1967.

Joseph, S.: *New Theater Forms*, Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd., London, 1968, 144 halaman.

Bentham, F.: *New Theaters in Britain*, Whitefriars Press, Ltd., London, 1970, 142 halaman.

Majalah

Newman, R.B.: "Making the Theater Work", *Architectural Forum*, Juni 1960, halaman 102–103.

"Theaters", *Progressive Architecture*, Pebruari 1962, halaman 96–132.

Wilke, H.: "Audio-Visual Systems for Large Group Instruction", *Architectural Record*, Oktober 1962, halaman 172–175.

Cavanaugh, W.J.: "School Auditorium", *Sound*, Januari-Pebruari 1963, halaman 19–27.

Leacroft, R.: "Actor and Audience", *J. RIBA*, April 1963, halaman 145–155; Mei 1963, halaman 195–204.

Glasstone, V.: "Auditoria Galore", *Architectural Design*, Nopember 1963, halaman 547–556.

"The Changing Practice: Theaters", *Progressive Architecture*, Oktober 1965, halaman 160–221.

"Teaching Machine for Drama", *The Architectural Forum*, April 1969, halaman 78–84.

Ham, R.: "Theater Design in Britain", *Architectural Design*, Juli 1970, halaman 352–357.

"Theater Inflation", *Progressive Architecture*, Desember 1970, halaman 48–78, 114.

Rancangan Akustik Ruang Musik

Kalau efisiensi akustik ruang-pidato dapat dinilai dengan cukup tepat lewat uji (test) inteligibilitas-pembicaraan (Bab 19), maka penilaian kualitas akustik-ruang auditorium yang digunakan untuk pertunjukan musik lebih sulit. Uji inteligibilitas-pembicaraan adalah suatu metoda penilaian obyektif, tetapi kualitas akustik ruang-ruang untuk musik sering dinilai berdasarkan tanggapan subyektif oleh pemusik, dirigen, pencinta musik dan guru-guru musik, yang bila penilaiannya dipengaruhi oleh emosi mereka, kadang-kadang dapat dipertentangkan.

8.1 Sifat Akustik-Ruang yang Mempengaruhi Kualitas Musik

Bentuk dan volume auditorium, kapasitas penonton dan jumlah orang yang hadir, serta lapisan akustik pada permukaan semuanya berperan pada karakteristik akustik-ruang tertentu yang jelas mempengaruhi kualitas bunyi dari musik yang disajikan dalam ruang.

Bila musik memberi kesan sepertinya disajikan dalam ruang yang kecil dan akrab, maka auditorium dikatakan mempunyai *keakraban akustik* (acoustical intimacy). Biasanya tidaklah mungkin dan juga tidak perlu bahwa auditorium dibatasi ukurannya untuk memperoleh keakraban ini. Bila kesenjangan waktu-tunda (time-delay) mula-mula, yaitu selang waktu antara bunyi langsung yang diterima oleh pendengar dan pemantulan pertama dari sebarang permukaan batas ruang (Bab 6), lebih pendek dari 20 msec (20/1.000 sec), sesuai dengan beda jejak 23 ft (70 m), dan bunyi langsung tidak terlampau lembut, maka ruang akan terasa akrab secara akustik. Keakraban akustik adalah salah satu segi yang paling diinginkan dalam auditorium yang terutama digunakan untuk musik.

Bila suatu auditorium mempunyai volume yang relatif besar bagi kapasitas penontonnya, dengan dinding-dinding yang kebanyakan adalah pemantul bunyi, maka ruang dikatakan *hidup*. Suatu ruang yang hidup mempunyai RT yang relatif panjang, terutama pada frekuensi sedang dan tinggi, dan menghasilkan nada yang penuh dan panjang pada frekuensi-frekuensi ini. Sebuah ruang dengan volume yang relatif kecil dibandingkan dengan kapasitas penontonnya, dengan dinding yang banyak menyerap bunyi, dikatakan *mati* atau *kering*. Sebuah ruang yang kering mempunyai RT yang pendek, dan musik yang dibunyikan dalam ruang ini akan terdengar tidak menarik dan menjemukan. Sebaliknya, bila ruang mempunyai RT yang relatif panjang pada frekuensi-frekuensi rendah (di bawah sekitar 250 Hz), maka ruang tersebut mempunyai kualitas *kehangatan* akustik yang baik, serta menghasilkan suara yang kaya dengan bas. Bila RT dikendalikan dengan benar pada seluruh jangkauan frekuensi audio, suatu *kepenuhan nada* (fullness of tone) yang menyenangkan akan tercatat. Kepenuhan nada yang berlebihan membuat bunyi tersebut kabur dan tidak menyenangkan.

Dalam suatu ruang yang tidak terlampau besar, yang dimiringkan atau dibuat bertangga dengan baik, yang melengkapi penonton dengan jumlah bunyi langsung dan bunyi pantul yang

memuaskan, dan di mana RT dikendalikan dengan benar, akan terjadi gejala *kekerasan* yang menguntungkan.

Bila bunyi dari instrumen-instrumen musik yang berbeda dimainkan secara serentak dalam suatu orkestra mudah dibedakan, dan bila tiap bunyi dalam suatu bagian yang cepat dapat terdengar terpisah, maka ruang dikatakan memiliki *ketegasan* atau *kejelasan* (definition or clarity). Ketegasan yang baik akan terjadi bila pemantulan dengan waktu tunda pendek disediakan dalam jumlah yang cukup, bila ruang mempunyai volume yang relatif kecil dengan RT pendek, dan bila pendengar cukup dekat dengan sumber bunyi. Ketegasan dan kepenuhan nada biasanya mempunyai hubungan yang terbalik, artinya, ruang dengan derajat kejelasan yang tinggi biasanya mempunyai RT yang pendek dan sebaliknya.

Bila gelombang bunyi pantul menuju pendengar dari tiap arah dalam jumlah yang hampir sama, hasilnya adalah *difusi.* RT yang relatif panjang dan dinding yang luas serta ketidakteraturan permukaan yang banyak, mengembangkan difusi, suatu karakteristik akustik-ruang yang sangat diinginkan dalam auditorium-auditorium untuk musik.

Suatu segi akustik-ruang lain yang penting bagi ruang yang digunakan untuk musik adalah *keseimbangan* (balance). Ini dapat diperoleh lewat permukaan pemantul bunyi dan permukaan difusi bunyi yang banyak sekeliling sumber bunyi untuk memperkuat dan memperbaiki keseimbangan antara berbagai bagian orkestra, dan juga antara orkestra dan pemain tunggal. Pengendalian keseimbangan, tentunya juga merupakan tanggungjawab dirigen.

Bila bunyi musik dicampur dengan baik sebelum mencapai pendengar, sehingga bunyi tersebut diterima secara harmonis, maka ujung pengirim auditorium dikatakan mempunyai *daya campur* yang baik. Dinding-dinding orkestra yang reflektif dan difusif mengendalikan paduan. Bila panggung orkestra atau ruang bawah orkestra terlampau lebar, maka ia akan kehilangan perpaduan yang baik.

Bila pemusik dan pemain tunggal mempunyai kemampuan untuk bermain dalam kesatuan sehingga seluruh orkestra berbunyi seperti satuan yang dilatih dan dikoordinasi dengan baik, maka ruang musik dikatakan memiliki *ansambel* (ensemble). Jelaslah bahwa ansambel terutama dikendalikan oleh dirigen; namun, hal itu juga diperkuat oleh lantai panggung yang dibagi dengan baik dan dimiringkan dengan cukup serta oleh dinding-dinding panggung yang mengarahkan bunyi dari satu sisi panggung ke sisi lain.

Kebebasan dari bising, artinya, reduksi bising eksterior dan interior sampai tak terdengar atau paling sedikit sampai suatu minimum yang dapat diterima, adalah salah satu persyaratan auditorium untuk musik yang paling penting. Kualitas akustik-ruang lain yang penting adalah *kebebasan yang sempurna dari cacat akustik,* seperti gema, pemusatan bunyi, distorsi, dan bayangan bunyi.

8.2 Pengaruh Akustik-Ruang pada Musik

Sifat-sifat akustik ruang mempunyai pengaruh yang jelas pada berbagai tahap proses musik, yaitu, pada komposisi, pada pagelaran (produksi) dan pada pendengaran.

Seperti telah dijelaskan dalam Bab 2, pencipta musik (composer) pada mulanya sangat dipengaruhi oleh pengaturan akustik ruang di mana pekerjaan mereka dikomposisikan atau dimainkan. Sepanjang abad, pencipta musik gereja ini memanfaatkan pengaruh kepenuhan nada yang menguntungkan pada musik mereka, suatu karakteristik akustik-ruang gereja yang istimewa. Musik baroque dan klasik diperuntukkan bagi ruang-ruang segiempat yang relatif kecil, ruang-ruang dansa atau teater. Mereka mempunyai dinding-dinding pemantul yang menghasilkan derajat keakraban akustik yang tinggi dengan RT yang pendek dan ketegasan istimewa, ciri yang ideal untuk musik baroque dan musik klasik. Pencipta musik opera-opera Eropa mengharapkan rumah opera jenis Italia, yang membutuhkan derajat ketegasan yang tinggi dan RT yang relatif pendek. Semua simfoni perioda romantik dan opera Wagner diciptakan untuk auditorium-auditorium yang memiliki keakraban yang menonjol dan kepenuhan nada. Namun sejak awal abad ini, musik tidak lagi diciptakan berdasarkan kualitas akustik ruang-ruang yang ada. Sebenarnya, auditorium jaman kita harus memuaskan jumlah per-

syaratan akustik musik yang terus-menerus bertambah agar menghasilkan lingkungan akustik yang optimum bagi pagelaran musik.

Karena penghargaan terhadap musik tidak akan pernah dapat dipisahkan dari lingkungan akustik ruang di mana musik tersebut dimainkan/diperdengarkan, pemusik atau pemain tunggal biasanya menyesuaikan penampilan mereka dengan kualitas akustik auditorium di mana mereka main. Mereka sepenuhnya sadar bahwa keberhasilan mereka tidak hanya tergantung dari mereka tetapi sebagian besar tergantung pada akustik ruang tersebut. Sebelum memilih suatu irama mereka harus memeriksa sifat akustik ruang yang ada seperti keakraban, kepenuhan nada, ketegasan, difusi, keseimbangan dan paduan. Latihan juga membantu agar pemain terbiasa dengan kualitas akustik-musik yang penting dari ruang. Bila diperhatikan dengan baik, maka karakteristik-karakteristik akustik-ruang ini dapat membantu pagelaran, tetapi sebaliknya mereka dapat menghasilkan pagelaran yang buruk bila tidak diperhatikan. Dirigen selalu menyesuaikan musik dengan karakteristik akustik, ruang yang bersangkutan.

Penonton maupun kritikus musik sangat dipengaruhi oleh kualitas akustik auditorium dalam menilai suatu pagelaran musik, dalam kecocokan atau ketidak-cocokan mereka terhadap musik tersebut dan dalam memutuskan apakah ruang tersebut cocok untuk pagelaran musik.

Biasanya pemilihan acara konser dan ukuran suatu orkestra sebagian tergantung pada sifat dasar akustik-ruang dari ruang konser tersebut. Tidak ada dirigen yang berpikir untuk menyampaikan Bach's Brandenburg Concerto dalam auditorium yang sangat dengung atau menyajikan Brahms dalam suatu ruang mati.

Penelitian mendalam terus berlangsung, untuk memastikan dan menilai keinginan kebanyakan penonton dan lingkungan akustik yang optimum untuk musik dari perioda dan gaya yang berbeda. Penyelidikan-penyelidikan ini menyatakan bahwa musik membutuhkan RT yang jelas lebih panjang daripada pidato, terutama karena bunyi musik hidup lebih lama daripada sukukata-sukukata pembicaraan, dan kekaburan serta tumpang-tindih dalam bunyi musik dalam derajat yang cukup besar seringkali dianggap dapat diterima bahkan kadang-kadang diinginkan. Pada frekuensi tengah, untuk berbagai gaya musik, ternyata bahwa RT sedikit di atas 1.0 sekon ideal untuk musik baroque, 1,5 sekon disarankan untuk musik klasik dan musik modern, dan sedikit di atas 2,0 sekon lebih disukai untuk musik romantik. Kompromi yang paling disukai untuk ruang musik yang penuh, yang terutama digunakan tetapi tidak secara khusus untuk pagelaran musik adalah sekitar 1,7 sekon pada jangkauan frekuensi tengah. Untuk rumah-rumah opera di mana inteligibilitas lirik lagu (libretto) menguntungkan (bila dinyanyikan dalam bahasa penonton), disarankan RT sebesar 1,2 sampai 1,4 sekon.

8.3 Pertimbangan-pertimbangan Akustik dalam Rancangan Arsitektur Auditorium-Musik

Pertumbuhan jangkauan persyaratan keindahan, bangunan, mekanikal, elektrikal, fungsional, akustik-musik, dan keuangan dalam rancangan arsitektur auditorium musik adalah berat. Masalah-masalah akustik yang dihadapi sering terjadi pada auditorium-auditorium dengan ukuran dan bentuk yang tidak lazim.

Di samping persyaratan-persyaratan umum yang dibahas di Bab 6, perhatian harus diberikan pada butir-butir berikut ini.

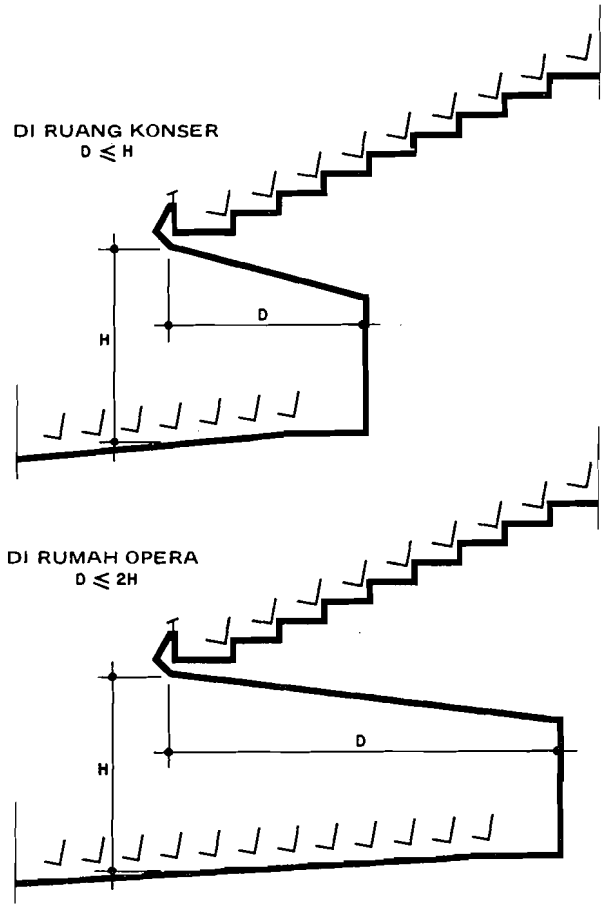
1. Karena tidak ada ruang musik yang dibangun untuk satu jenis atau gaya musik tertentu, RT harus selalu merupakan kompromi yang ditetapkan dengan teliti. RT yang dikendalikan dengan hati-hati akan menambah kepenuhan nada dan akan membantu kekerasan, ketegasan, dan difusi. Namun penetapan RT yang ideal saja tidak merupakan jaminan bahwa secara akustik ruang akan istimewa bagi pagelaran musik; ini hanya faktor yang menunjang saja.
2. Ketegasan akan memuaskan bila kesenjangan waktu-tunda mula-mula (Bab 6) tidak melampaui 20 msekon; bila bunyi langsung relatif cukup keras terhadap bunyi dengung, artinya, pendengar cukup dekat dengan sumber bunyi; dan bila tidak ada gema.
3. Mengadakan persediaan dan distribusi nada-nada rendah yang cukup untuk daerah pendengar yang luas (di atas 2.500 tempat duduk) merupakan masalah akustik yang rumit,

sebagian karena nada dasar berbagai instrumen musik (bass ganda, harpa, dan lain-lain) relatif lemah dan sebagian besar dari waktu hanya harmonik-harmoniknya yang terdengar.

4. Untuk memperoleh kualitas bunyi yang merata pada seluruh daerah penonton, balkon tidak boleh menonjol terlampau dalam ke rongga udara (Gambar 8.1), pendengar harus mempunyai garis pandang yang tidak dihalangi sehingga mereka menerima bunyi langsung yang banyak, ruang harus mempunyai ukuran dan pembagian yang baik, dan dinding-dinding cekung harus dihindari.

5. Gema akan sangat jelas bila RT pendek dan difusi tidak cukup. Makin panjang RT dalam suatu ruang, makin sedikit gangguan yang akan diperoleh dari gema. RT yang lebih panjang akan "menutupi" penerobosan tunggal suatu gema. Dalam memeriksa titik-titik yang menghasilkan gema, selalu harus diingat bahwa rancangan akustik ruang merupakan masalah tiga dimensi.

6. Frekuensi bunyi yang terlibat dalam akustik ruang-musik meliputi jangkauan yang jauh lebih lebar dibandingkan jangkauan untuk pembicaraan, dari sekitar 30 Hz untuk instrumen-instrumen musik tertentu sampai sekitar 12.000 Hz, termasuk komponen-komponen frekuensi tinggi dari bunyi musik yang merupakan ciri beberapa instrumen musik.



Gambar 8.1 Balkon yang disarankan untuk ruang musik. POTONGAN

7. Perhatian khusus dibutuhkan untuk mengendalikan bising dan getaran yang berasal dari sistem pemanas, ventilasi, dan sistem pendingin ruangan dari tempat-tempat yang berdekatan; ruang mekanik dan listrik; dan dari transportasi darat, transportasi bawah-tanah, serta transportasi udara. Bising penutup, suatu segi yang baik dalam bangunan perumahan dan bangunan-bangunan lain, harus direduksi sampai suatu minimum mutlak (Bab 15) untuk menghindari gangguan terhadap nada-nada pianissimo (lembut).

8.4 Bentuk Lantai

Bentuk lantai auditorium yang digunakan untuk musik tentunya mempengaruhi rangkaian sumber-bunyi-jejak-transmisi-penerima (Bab 1). Karena itu perlulah menetapkan bentuk sebelum perincian rancangan dipikirkan. Bentuk lantai auditorium yang digunakan untuk musik biasanya mengambil salah satu atau kombinasi bentuk-bentuk, yang secara singkat dijelaskan di bawah ini.

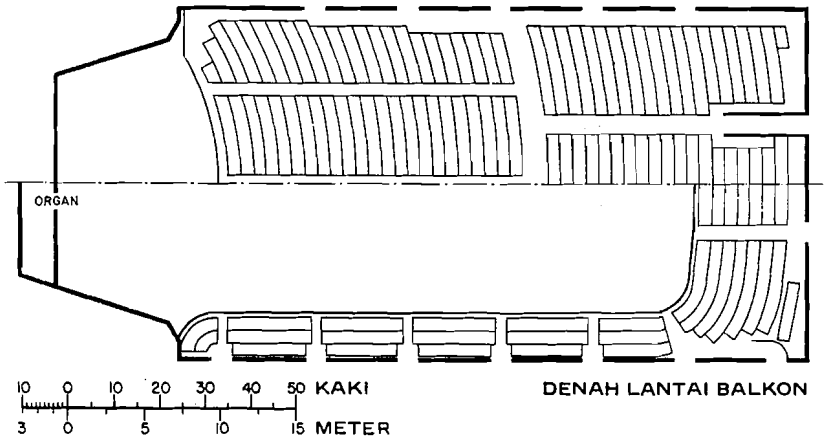
Lantai *empat persegi* (Gambar 8-2) adalah bentuk lantai yang historis, dengan unsur tradisi yang menonjol dan masih digunakan dengan berhasil. Ruang-ruang konser dari abad ke sembilanbelas dan awal abad ke duapuluh yang bagus – the Grosser Musikvereinssaal, Vienna; St. Andrew's Hall, Glasgow; the Concertgebouw, Amsterdam; the Stadt-Casiono, Basel; dan Symphony Hall, Boston – semuanya mempunyai bentuk lantai empat persegi. Ruang-ruang konser ini dan beberapa contoh masa kini dicantumkan dalam Tabel 8.1. Pemantulan silang antara dinding-dinding sejajar menyebabkan bertambahnya kepenuhan nada, suatu segi akustik ruang yang sangat diinginkan pada ruang musik.

Lantai *bentuk kipas* membawa penonton lebih dekat ke sumber bunyi, sehingga memungkinkan konstruksi balkon (Gambar 8.3). Dinding belakang yang dilengkungkan dan bagian depan balkon yang dilengkungkan, kecuali bila diatur secara akustik atau dibuat difus, cenderung menciptakan gema atau pemusatan bunyi.

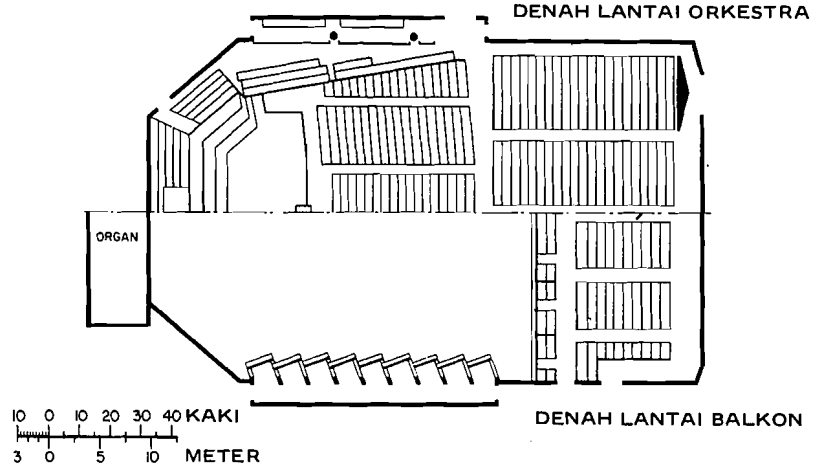
Denah lantai *bentuk tapal kuda* menggambarkan pengaturan tradisional rumah-rumah opera. Keistimewaan karakteristik bentuk lantai ini adalah kotak-kotak yang berhubungan (ring of boxes) yang satu di atas yang lain. Walaupun tanpa lapisan permukaan penyerap bunyi interior, kotak-kotak ini berperan secara efisien pada penyerapan bunyi, menyediakan RT yang relatif pendek yang cocok untuk bagian-bagian yang cepat dari opera Eropa, tetapi terlampau pendek untuk pagelaran orkestra. Gambar 8.4 menggambarkan contoh yang klasik dan kontemporer dari rumah opera berbentuk tapal kuda.

Bentuk lantai *melengkung* biasanya dihubungkan dengan atap kubah yang sangat tinggi. Kecuali diatur secara akustik, dinding-dinding melengkung dapat menghasilkan gema, pemantulan dengan waktu tunda yang panjang, dan pemusatan bunyi; kesemuanya dapat berperan pada RT yang sangat panjang. Untuk alasan ini maka lantai melengkung harus dihindari. The Royal Albert Hall di London, yang mempunyai bentuk lantai melengkung, terkenal karena kekurangan-kekurangan akustiknya. Setelah 1968, ketika 109 "piring terbang" (saucers) serat gelas dengan diameter 6 sampai 12 ft (1,83 sampai 3,65 meter) digantungkan, maka terjadilah perbaikan akustik yang sangat banyak.

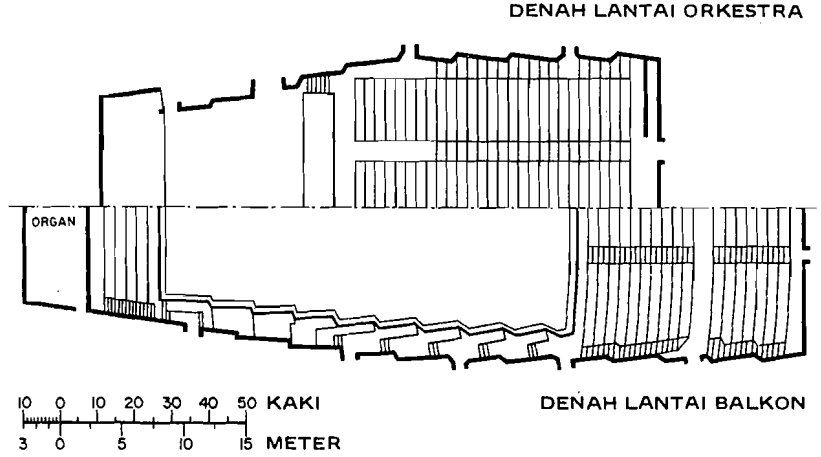
Bentuk lantai yang *tak teratur* dapat membawa penonton sangat dekat dengan sumber bunyi. Bentuk ini dapat menjamin keakraban akustik dan ketegasan, karena permukaan-permukaan yang digunakan untuk menghasilkan pemantulan-pemantulan dengan waktu tunda singkat dapat dipadukan dengan mudah ke dalam keseluruhan rancangan arsitektur. Denah tak teratur memberi kesempatan untuk distribusi elemen-elemen penyerap secara acak dan permukaan-permukaan tak teratur yang difusif. Hubungan yang bebas antara daerah penonton dan panggung memungkinkan rancangan dalam lingkup yang lebar dan menyebabkan makin terpenuhinya beberapa persyaratan akustik-musik. Dari sudut pandang akustik, sampai sekarang bentuk lantai ini menghasilkan keuntungan-keuntungan yang belum dimanfaatkan. Gambar 8.5 menunjukkan ruang-ruang musik dengan bentuk lantai tak teratur. Salah satu yaitu, Philharmonie di Berlin, dibangun dengan ketidakteraturan tiga dimensi. Panggung orkestra hampir dikelilingi oleh penonton, yang meniadakan kebutuhan akan kulit orkestra (orchestra shell) pemantul, yang merupakan kebutuhan dalam ruang konser yang besar. Sepuluh pemantul plastik besar, yang digantung pada langit-langit di atas panggung, digantikan oleh kulit. Philharmonic Hall, di New York, satu dari ruang konser terbaik yang pernah dibangun, adalah contoh bentuk lantai tak teratur yang lain. Beberapa perbaikan akustik diterapkan pada ruang, karena beberapa masalah akustik telah sangat dibesar-besarkan setelah pembukaannya pada 1962.



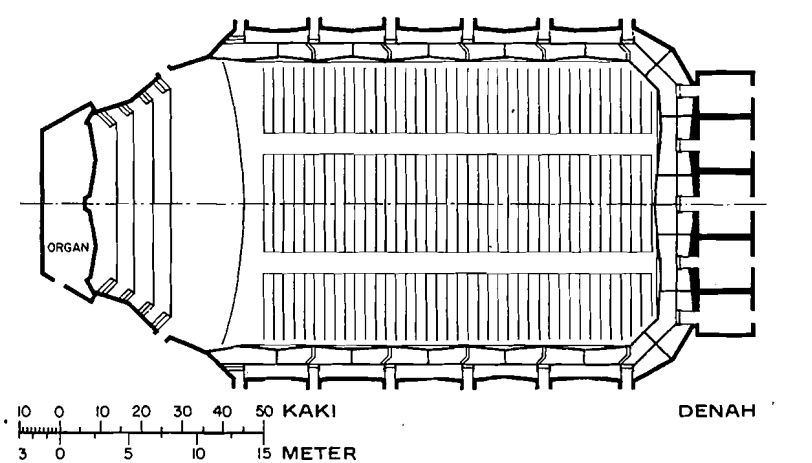
SYMPHONY HALL, BOSTON (1900), KAPASITAS: 2.631
McKIM MEAD WHITE, ARSITEK



ROYAL FESTIVAL HALL, LONDON (1951), KAPASITAS: 3.000
LCC. R MATHEW, ARSITEK



CONCERT HALL, KRANNERT CENTER, URBANA-CHAMPAIGN, ILL. (1969),
KAPASITAS 2.100 M. ABRAMOVITZ, ARSITEK



SYMPHONY HALL, J.F. KENNEDY CENTER, WASHINGTON (1970),
KAPASITAS 2.750 E.D. STONE, ARSITEK

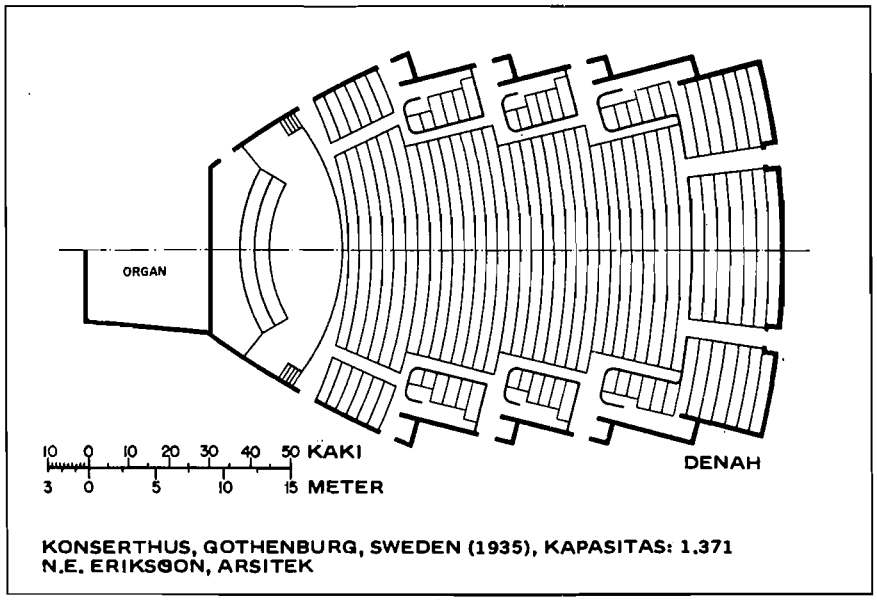
Gambar 8.2 Auditorium untuk musik dengan denah lantai segiempat.

TABEL 8.1 Data Akustik-arsitektur dari Ruang-ruang Konser

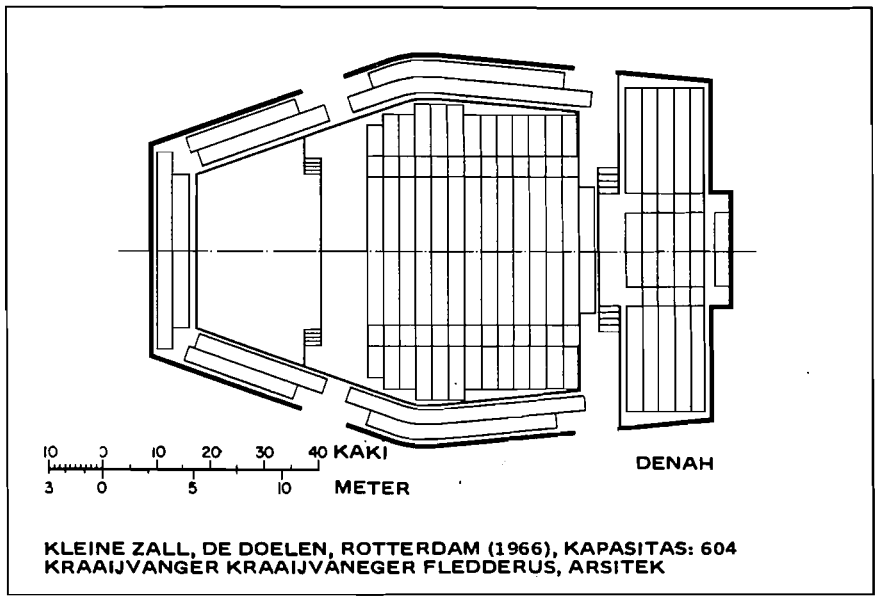
Dalam urutan kapasitas tempat duduk yang membesar

Nama dan tahun penyelesaian	Bentuk lantai*	Volume V, ft kubik (m kubik)	Kapasitas tempat duduk	V per tempat duduk penonton ft kubik (m kubik)	RT frekuensi tengah, detik
Grande Salle de Concerts, Paris, France, 1963	F	425,000 (12,000)	937	455 (12,8)	2,0†
Konserttisali, Turku, Finland, 1953	F	340,000 (9,600)	1,002	339 (9,6)	1,6
Salle Musica, La Chaux-de-Fonds, Switzerland, 1955	R	240,000 (6,800)	1,032	233 (6,6)	1,6
Radiohuset, Studio 1, Copenhagen, Denmark, 1945	F	420,000 (11,890)	1,093	384 (10,9)	1,5
Herkulessaal, Munich, Germany, 1953	R	495,000 (14,000)	1,200	412 (11,7)	2,0
Konzertsaal, Musikhochschule, Berlin, Germany, 1954	R	340,000 (9,600)	1,340	254 (7,2)	1,65
Konserthus, Göteborg, Sweden, 1935	F	420,000 (11,900)	1,371	306 (8,7)	1,7
Beethovenhalle, Bonn, Germany, 1959	I	555,400 (15,700)	1,407	395 (11,2)	1,7
Kulttuuritalo, Helsinki, Finland, 1957	F	354,000 (10,000)	1,500	236 (6,7)	1,05
Grosser Tonhallesaal, Zurich, Switzerland, 1895	R	402,500 (11,400)	1,546	260 (7,4)	1,6
Grosser Musikvereinssaal, Vienna, Austria, 1870	R	530,000 (15,000)	1,680	315 (8,9)	2,1
Tivoli Koncertsal, Copenhagen, Denmark, 1956	F	450,000 (12,740)	1,789	252 (7,1)	1,3
Concert Hall, Chiba, Japan, 1965	I	495,000 (14,000)	1,800	275 (7,8)	1,6
Severance Hall, Cleveland, Ohio, 1930	H	554,000 (15,700)	1,890	289 (8,2)	1,7
Philharmonic Hall, Liverpool, England, 1939	F	479,000 (13,500)	1,955	245 (6,9)	1,5
Liederhalle, Grosser Saal, Stuttgart, Germany, 1956	I	565,000 (16,000)	2,000	283 (8,1)	1,7
Neues Festspielhaus, Salzburg, Austria, 1960	F	460,000 (13,000)	2,160	212 (6,0)	1,5
Colston Hall, Bristol, England, 1951	R	475,000 (13,450)	2,180	218 (6,2)	1,7
Concertgebouw, Amsterdam, Netherlands, 1887	R	663,000 (18,700)	2,206	301 (8,5)	2,0
Philharmonie, Berlin, Germany, 1963	I	890,000 (25,000)	2,218	400 (11,3)	2,0
Grote Zaal, De Doelen, Rotterdam, Netherlands, 1966	I	990,000 (28,000)	2,232	440 (12,5)	2,0†
St. Andrew's Hall, Glasgow, Scotland, 1874	R	810,000 (23,000)	2,500	325 (9,2)	1,9
Free Trade Hall, Manchester, England, 1951	R	545,000 (15,400)	2,569	212 (6,0)	1,6
Symphony Hall, Boston, Mass., 1900	R	662,000 (18,740)	2,631	252 (7,1)	1,8
F. R. Mann Concert Hall, Tel Aviv, Israel, 1957	F	750,000 (21,200)	2,715	276 (7,8)	1,55
Jubilee Auditoriums, Edmonton, Alberta, and Calgary, Alberta, 1957	F	759,000 (21,480)	2,731	278 (7,9)	1,42
Carnegie Hall, New York, N.Y., 1891	H	857,000 (24,250)	2,760	311 (8,8)	1,7
Queen Elizabeth Theater, Vancouver, British Columbia, 1959	I	592,000 (16,750)	2,800	211 (5,6)	1,5
Philharmonic Hall, Lincoln Center, New York, N.Y., 1962	I	865,000 (24,500)	2,836	306 (8,7)	2,0
Kleinhans Music Hall, Buffalo, N.Y., 1940	F	644,000 (18,220)	2,839	227 (6,4)	1,32
Academy of Music, Philadelphia, Pa., 1857	H	555,000 (15,700)	2,984	186 (5,3)	1,4
Royal Festival Hall, London, England, 1951	R	775,000 (22,000)	3,000	258 (7,3)	1,5
Binyanei Ha'oomah, Jerusalem, Israel, 1960	F	873,000 (24,700)	3,142	278 (7,9)	1,75
Tanglewood Music Shed, Lenox, Mass., 1938	F	1,500,000 (42,450)	6,000	250 (7,1)	2,05
Royal Albert Hall, London, England, 1871	C	3,060,000 (86,600)	6,080	503 (14,2)	2,3†

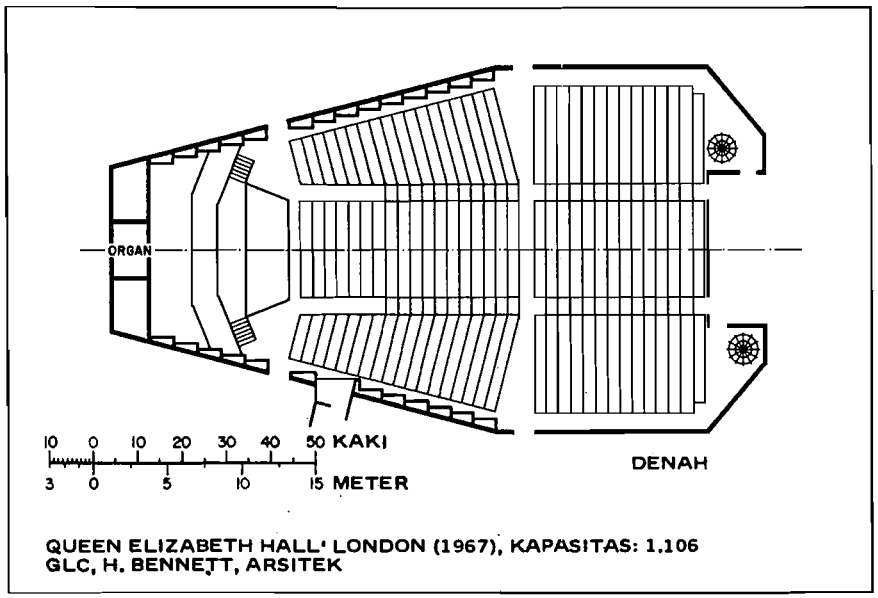
* R = segiempat, F = bentuk kipas, H = bentuk tapal kuda, C = melengkung, I = tak teratur.
† Kira-kira.



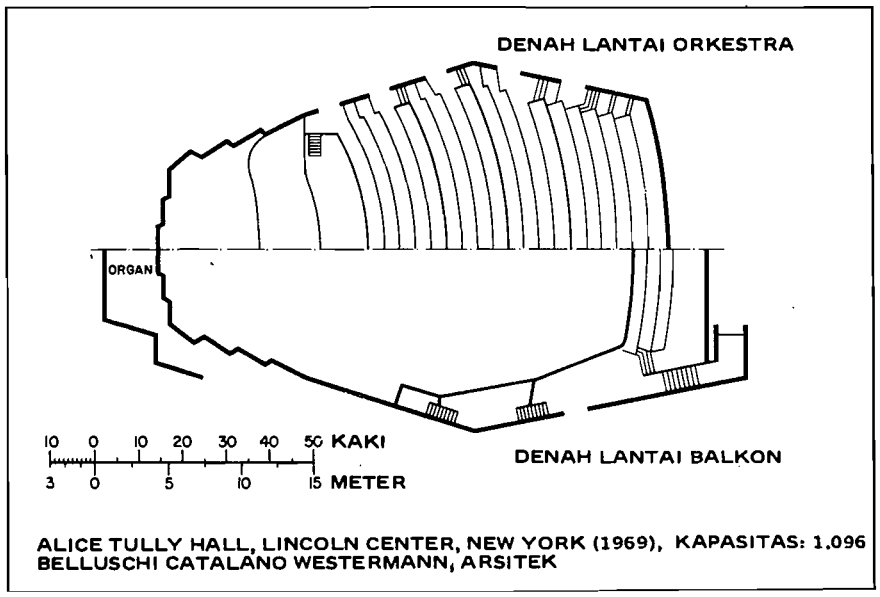
KONSERTHUS, GOTHENBURG, SWEDEN (1935), KAPASITAS: 1.371
N.E. ERIKSSON, ARSITEK



KLEINE ZALL, DE DOELEN, ROTTERDAM (1966), KAPASITAS: 604
KRAAIJVANGER KRAAIJVANEGER FLEDDERUS, ARSITEK

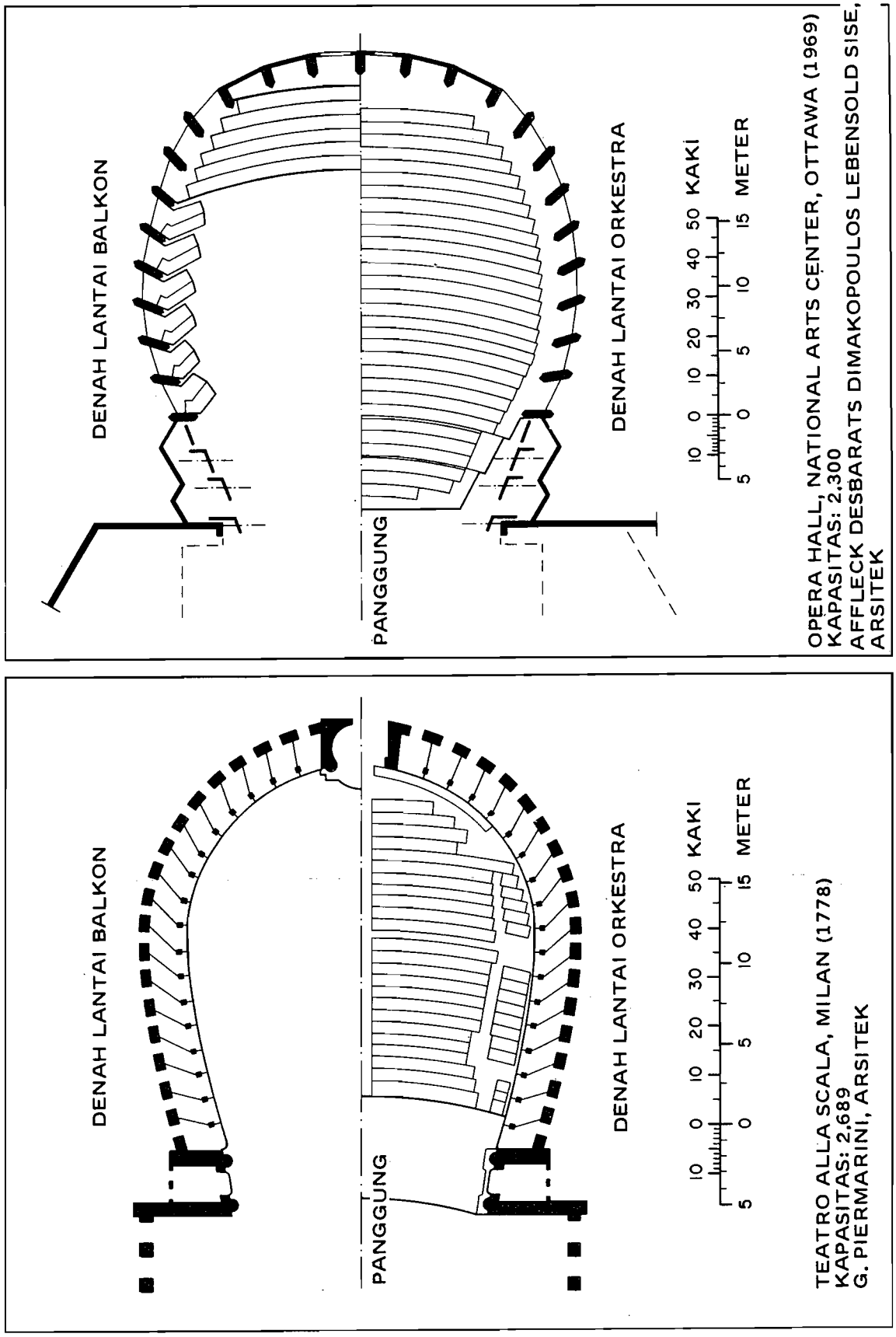


QUEEN ELIZABETH HALL' LONDON (1967), KAPASITAS: 1.106
GLC, H. BENNETT, ARSITEK

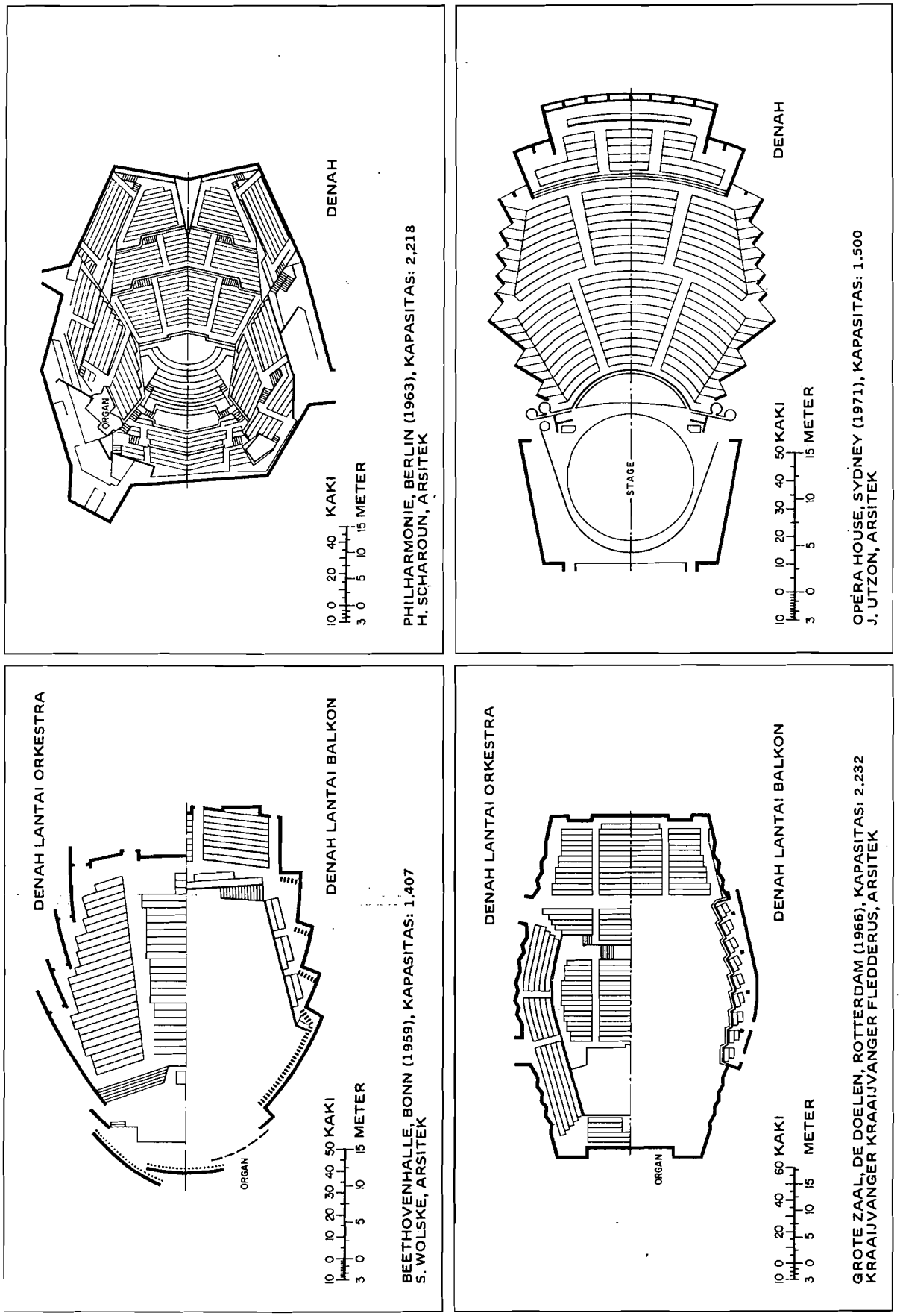


ALICE TULLY HALL, LINCOLN CENTER, NEW YORK (1969), KAPASITAS: 1.096
BELLUSCHI CATALANO WESTERMANN, ARSITEK

Gambar 8.3 Auditorium untuk musik dengan denah lantai bentuk kipas.



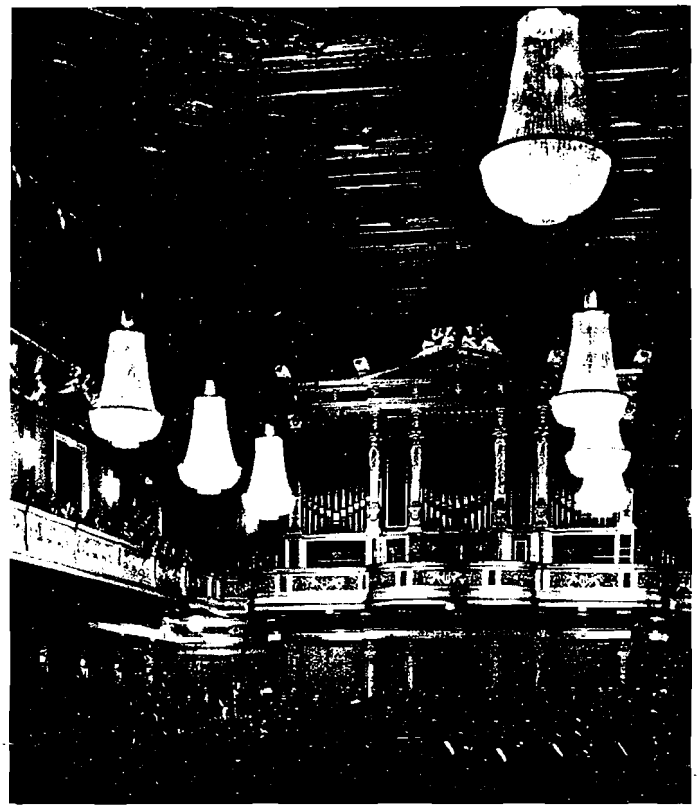
Gambar 8.4 Auditorium untuk musik dengan denah lantai bentuk tapal kuda.



Gambar 8.5 Auditorium untuk musik dengan denah lantai tak teratur.

8.5 Ruang Konser

Dalam ruang konser yang baik penonton dan pemusik berada dalam ruang yang sama tanpa bangunan pemisah (tembok proscenium) antara mereka. Tidak ada bentuk ruang khusus yang dapat dianggap ideal untuk suatu ruang konser. Saat ini, bentuk kipas dan denah tak teratur tampaknya lebih disukai, asalkan perhatian yang cukup diberikan pada persyaratan-persyaratan akustik yang telah dibahas di atas. Namun, bentuk empat persegi tetap disukai oleh orang-orang yang lebih suka mengikuti metoda tradisional yang berhasil daripada menanggung risiko mencoba-coba (Gambar 8.6).



Gambar 8.6 Interior Grosser Musikvereinssaal, Vienna (1870), dengan denah lantai segiempat, dianggap salah satu ruang konser yang terbaik di Eropa. (T.R. von Hansen, arsitek. Foto oleh C. Till-Borchardt.)

Penggunaan balkon (atau balkon-balkon) dalam ruang konser yang besar sering menguntungkan karena hal tersebut membawa penonton lebih dekat ke panggung. Adalah relatif mudah untuk menyediakan pemantulan dengan waktu tunda singkat bagi tempat duduk yang dimiringkan dengan tajam di balkon-balkon, dan gelombang bunyi tidak mencapai barisan-barisan di balkon dengan sudut datang miring seperti yang terjadi pada daerah tempat duduk utama. Untuk mengadakan kondisi mendengar yang memuaskan di bawah balkon, lihat rekomendasi yang digambarkan di Gambar 8.1.

Pencapaian RT yang sangat diinginkan dalam ruang konser besar adalah sulit. Karena itu penggunaan lapisan permukaan yang menyerap bunyi (bahkan sepanjang dinding belakang, berhadapan dengan mimbar orkestra) harus diberi perhatian khusus dan dikurangi sampai suatu minimum atau dihilangkan sama sekali. Dalam keadaan-keadaan tertentu seseorang harus sama sekali menghindari lapisan akustik dan bergantung pada penyerapan penonton, yang selalu besar. Ini dapat menghasilkan gema yang dipantulkan dari dinding-dinding belakang selama latihan ketika penyerapan penonton tidak ada. Namun, gema biasanya hilang selama pementasan karena adanya penyerapan penonton, terutama bila yang hadir sesuai kapasitas.

Dalam ruang konser dengan volume kurang dari 900.000 ft kubik (25,000 m kubik) penggunaan sistem penguat bunyi, walaupun dipasang dalam ruang, harus dihindari. Semua masalah akustik-ruang dalam ruang semacam itu harus dipecahkan lewat cara-cara akustik arsitektur. Nilai volume per tempat duduk yang direkomendasikan untuk ruang konser diberikan dalam Tabel 6.1.

Dalam merancang *panggung orkestra,* terutama harus diingat hal-hal berikut ini.

1. Luas lantai harus didasarkan pada kebutuhan ruang pemusik, instrumen-instrumen mereka, dirigen dan pemain tunggal. Tiap pemusik membutuhkan luas lantai sekitar 12 sampai 15 ft persegi (1.1 sampai 1.4 m persegi) dan tiap anggota paduan suara membutuhkan 3 sampai 4 ft persegi (0.3 sampai 0.4 m persegi).

2. Hubungan pemusik-pendengar yang dekat harus diperoleh dengan pandangan horisontal dan vertikal yang sangat jelas dari tiap bagian daerah penonton, untuk menyediakan kekerasan, keakraban dan ketegasan. Suatu pandangan yang baik pada semua instrumen-instrumen musik dari tiap bagian daerah penonton, yaitu, penggarukan (raking) panggung orkestra, adalah syarat yang harus lebih dahulu dipenuhi untuk kondisi mendengar yang memuaskan dan salah satu yang secara mengherankan diabaikan dalam banyak ruang konser.

3. Panggung orkestra tidak boleh terlalu dalam atau terlalu lebar. Kedalaman maksimum sekitar 30 ft (9 m) dan lebar maksimum sekitar 60 ft (18 m) disarankan untuk daerah pentas orkestra saja. Kedalaman yang ditambahkan untuk paduan suara tidak boleh melebihi sekitar 10 ft (3 m) di bagian belakang atau pada salah satu sisi. Suatu penggarukan dan lebar-terhadap kedalaman panggung yang pantas akan menyediakan kekerasan, difusi, keseimbangan, perpaduan dan ansambel yang baik.

4. Dinding-dinding batas harus diberi lapisan pemantul dan ditempatkan sedemikian agar mereka membantu menguatkan pengarahan bunyi ke dalam daerah penonton dan mereduksi penyerapan bunyi yang tidak diinginkan di sumber.

5. Ketinggian panggung harus dinaikkan cukup tinggi di atas ketinggian lantai penonton untuk menyediakan bunyi langsung yang baik ke tiap pendengar. Lantai harus dilengkapi dengan sedikitnya suatu ruang resonansi yang dalamnya 20 in (50 cm) di bawahnya, agar menguatkan radiasi dari instrumen-instrumen bas dan mereduksi bunyi-bunyi yang sangat kuat dari instrumen-instrumen perkusi (tabuh-tabuhan).

6. Hubungan letak antara panggung dan instalasi organ harus dekat.

7. Panggung orkestra harus mempunyai jalan masuk horisontal dan vertikal yang bagus ke gudang instrumen untuk penyerahan isntrumen secara cepat dan tanpa dirintangi ke dan dari panggung.

8. Persyaratan-persyaratan bangunan, mekanis dan listrik harus dikoordinasikan dengan persyaratan akustik.

Dalam auditorium serbaguna *kulit orkestra* (orchestra shell) adalah suatu elemen panggung yang vital; kulit itu menyediakan fungsi-fungsi sebagai berikut:

1. Ia membuat energi akustik berbagai bagian orkestra setimbang dan menciptakan nada orkestra yang kaya dan penuh.

2. Ia mencegah disipasi/hilangnya energi bunyi lewat flies dan sayap-sayap dan mengarahkan bunyi ke dalam daerah pendengar.

3. Ia melawan karakteristik kearahan tiap-tiap instrumen musik dan mencampur mereka menjadi satu kesatuan.

4. Ia dapat mereduksi (atau menyerap) bunyi bagian-bagian keras yang sangat keras dari orkestra seperti genderang dan alat-alat tiup, jadi mencegah mereka dari kehilangan energi bagian rendah seperti seruling dan alat gesek.

5. Ia memungkinkan anggota orkestra untuk saling mendengar dan mendengar dirinya sendiri lebih baik.

6. Ia menyediakan tempat untuk lampu-lampu penerangan dan menempatkan lokasi-lokasi mikrofon yang tetap.

Ukuran dan struktur kulit orkestra harus dengan mudah disesuaikan dengan kebutuhan ruang bagi bermacam-macam instrumen atau grup pementas — dari pemain tunggal dan or-

kestra kamar sampai orkestra simfoni yang lengkap dan paduan suara yang besar. Bahan-bahan yang berbeda, seperti kayu, plywood, hardboard, logam, plesteran, dan serat gelas yang dikuatkan, dapat digunakan untuk konstruksi.

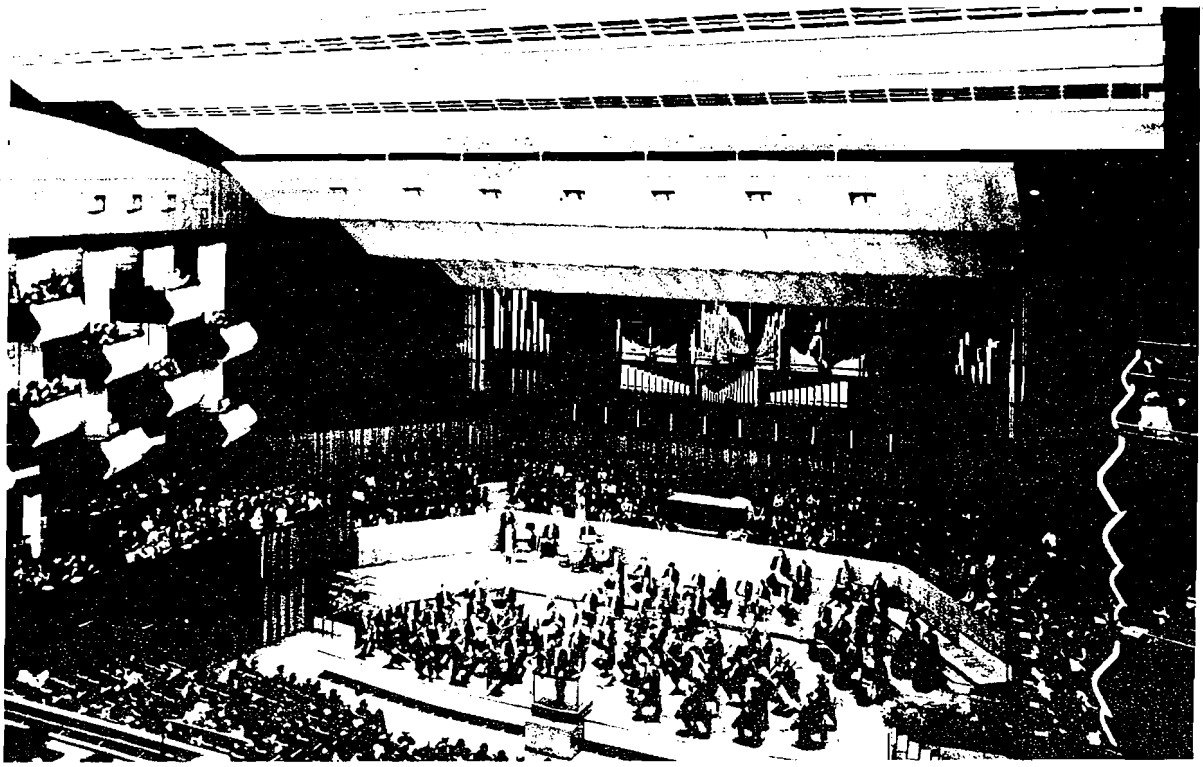
Elemen-elemen kulit harus dapat dipasang dengan mudah dan cepat dan disimpan di flies atau dalam daerah luar-panggung (panggung bawah), dan mereka harus mempunyai daya tahan yang tinggi serta kekuatan tanpa berat yang berlebihan.

Suatu kulit orkestra dengan elemen-elemen yang dapat disesuaikan dapat mengatur perbandingan energi bunyi langsung terhadap energi bunyi pantul, berperan dalam penyesuaian akustik, atau membuat selaras (tuning) suatu ruang konser.

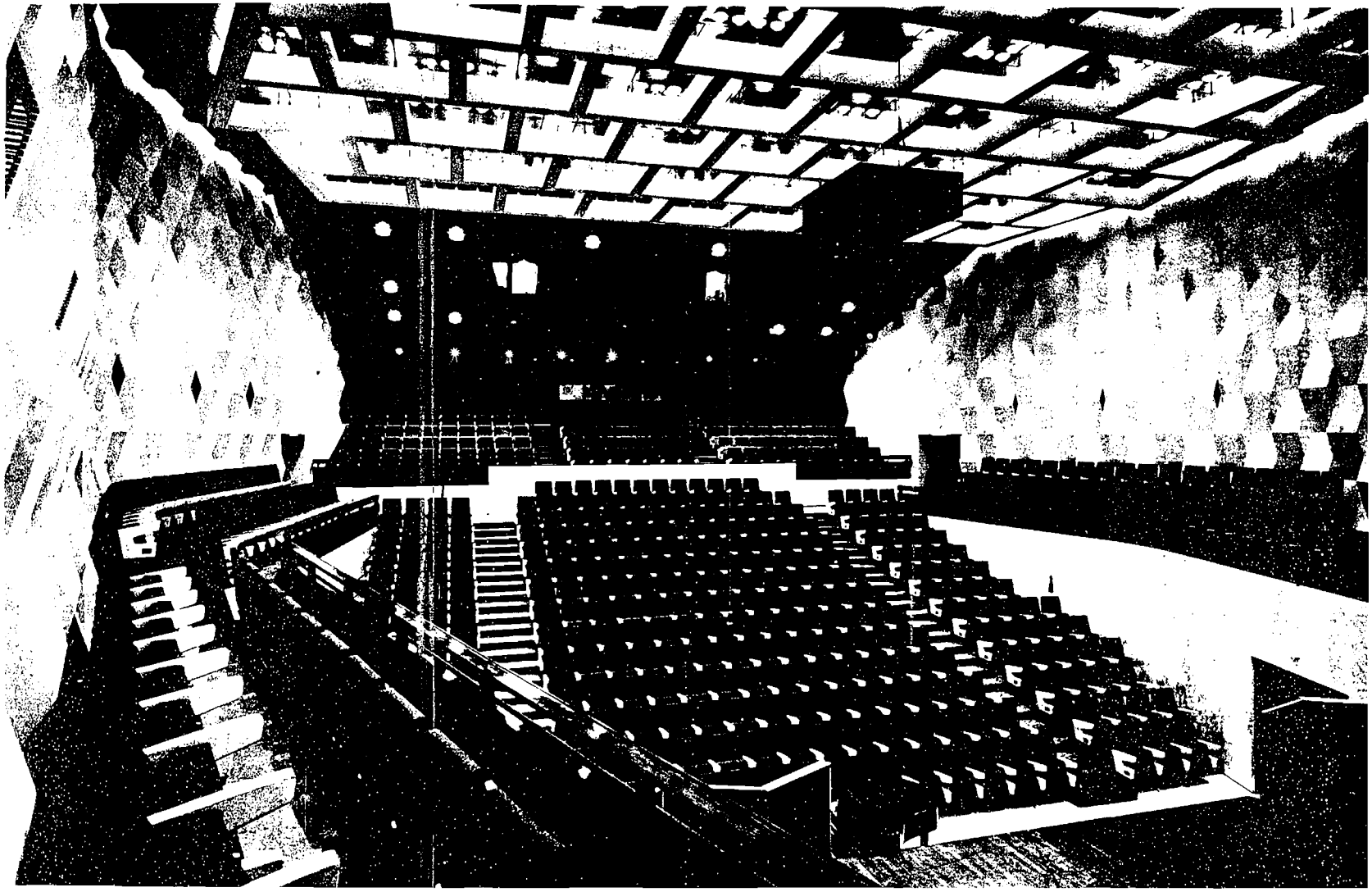
Tabel 8.1 mendaftar data akustik arsitektur dari ruang-ruang konser, yang dihimpun dari data-data yang kadang-kadang bertentangan, dan tambahan contoh ruang konser diberikan dalam Tabel 8.2. Gambar 8.7 sampai 8.12 menggambarkan interior ruang-ruang konser pada dasawarsa terakhir ini yang hebat.

TABEL 8.2 Beberapa Ruang Konser Masa Kini
Dalam urutan kapasitas tempat duduk yang membesar

Nama	Lokasi	Tanggal penyelesaian	Kapasitas tempat duduk
Recital Hall, Skidmore College	Saratoga Springs, N.Y.	1970	242
Paul Recital Hall, Lincoln Center	New York, N.Y.	1969	278
Purcell Hall	London, England	1967	372
Hopkins Center	Hanover, N.H.	1962	900
Concert Hall, Benedicta Arts Center	St. Joseph, Mo.	1964	1.000
Concert Hall	Albuquerque, N. Mex.	1964	2.100
Uihlein Hall, Milwaukee Center for the Performing Arts	Milwaukee, Wis.	1969	2.327
Concert Hall, Opera House	Sydney, Australia	1971	2.800
Jesse H. Jones Hall	Houston, Tex.	1966	3.000
Performing Arts Center	Saratoga Springs, N.Y.	1966	5.100



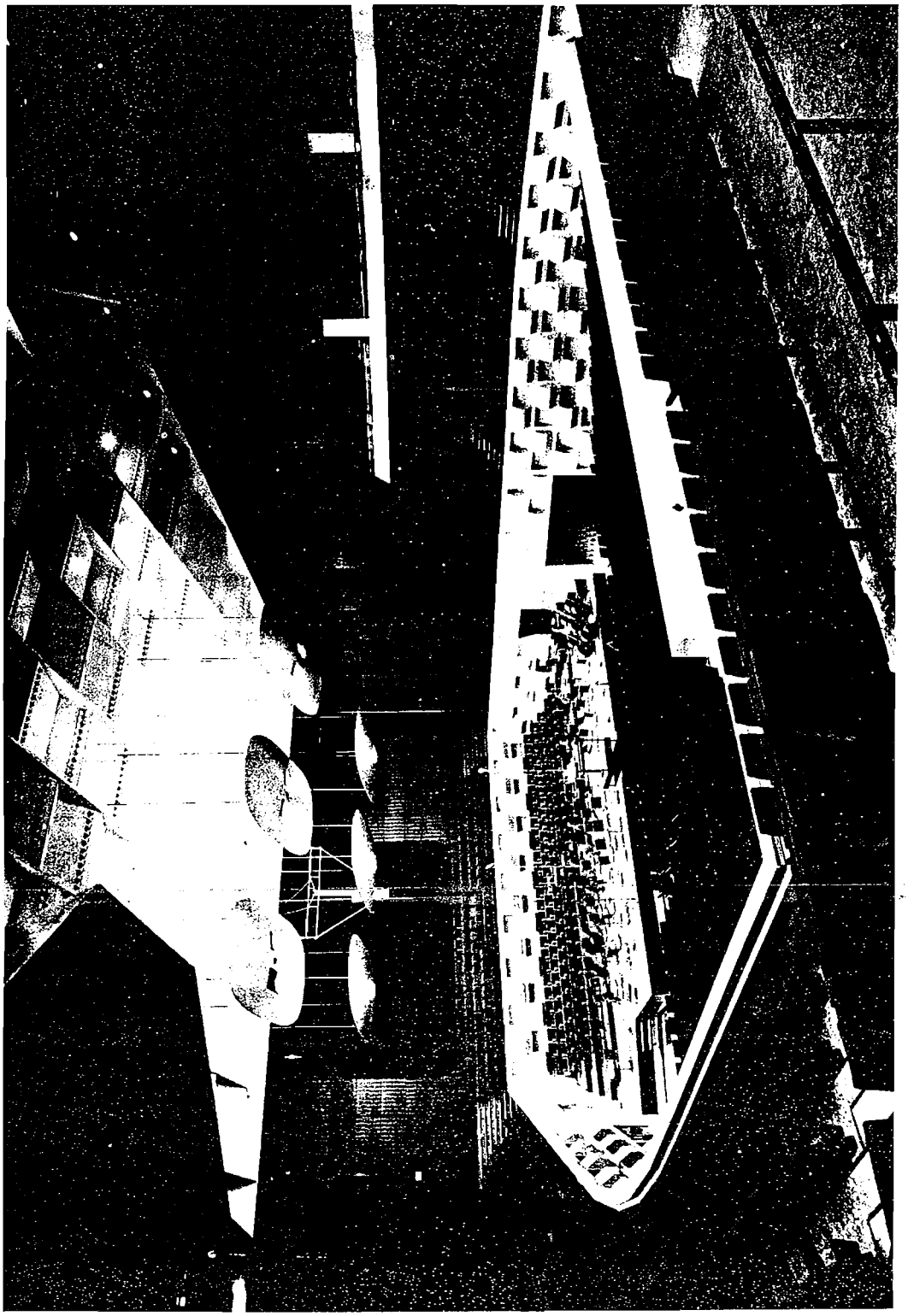
Gambar 8.7 Interior Royal Festival Hall London (1951) dengan 3.000 tempat duduk. (Lantai County Council, R. Mathew, arsitek, H. Bagenal, konsultan akustik, bekerja sama dengan Building Research Station. Foto oleh Greater London Council, Photographic Department of Architecture & Civic Design.)



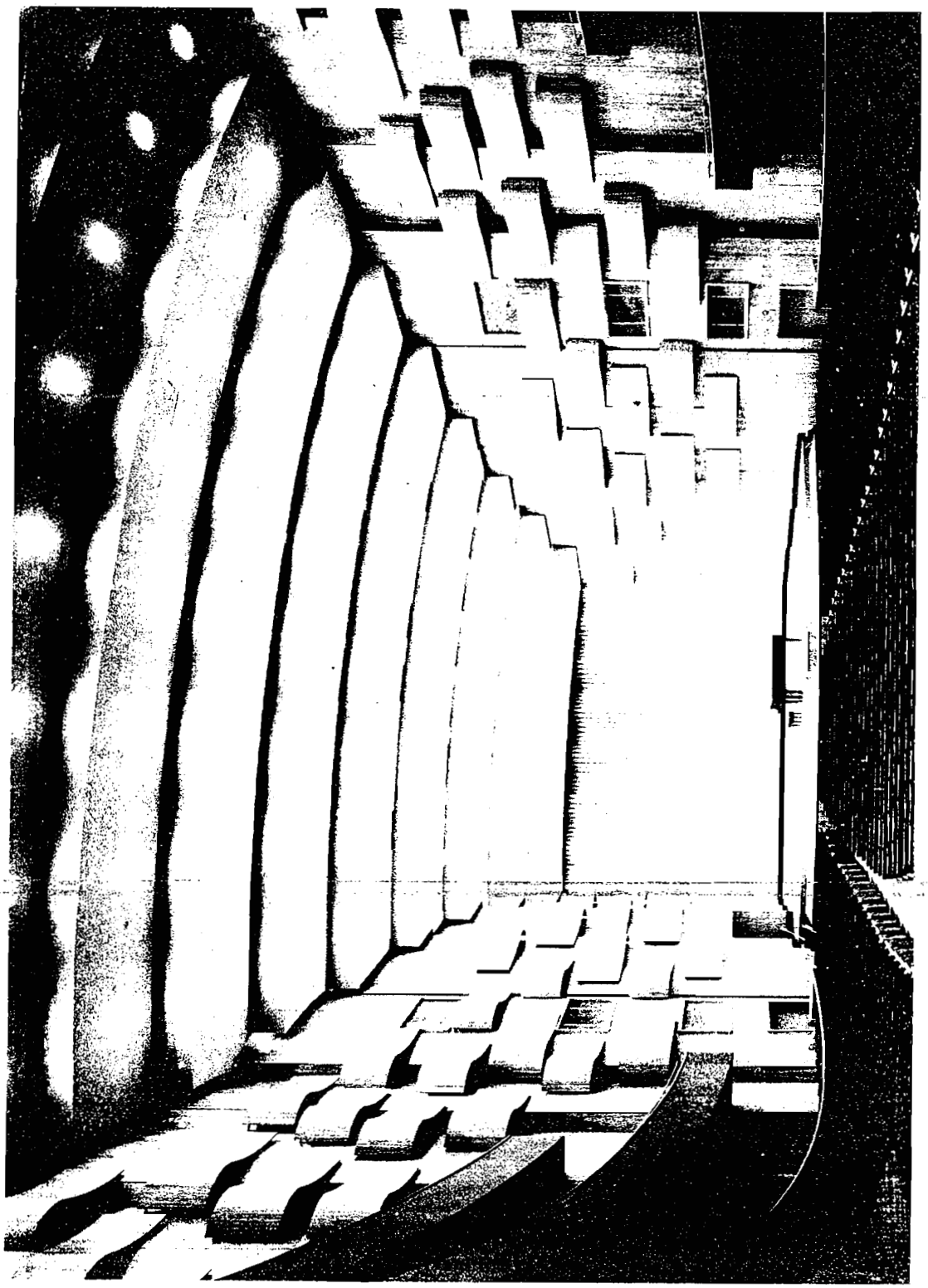
Gambar 8.8 Interior kompleks ruang konser Kleine Zaal of Rotterdam's De Doelen (1966) dengan 604 tempat duduk. (Kraaijvanger, Kraaijvanger, dan Fledderus, arsitek; C.W.A. Kosten dan P.A. de Lange, konsultan akustik. Foto oleh W. van Suchtelen).

Gambar 8.9 Interior Queen Elizabeth Hall, London (1967) dengan 1.106 tempat duduk. (Graeter London Council, H. Bennett, arsitek; H. Creighton dan P.H. Parker, konsultan akustik, bekerjasama dengan the Building Research Station. Foto oleh Greater London Council, Photographic Department of Architecture & Civic Design).

Gambar 8.10 Interior Alice Tully Hall, Loncoln Center, New York City (1969) dengan 1.096 tempat duduk. (Bulluschi, Catalano, dan Westermann, arsitek; H. Keilholz, konsultan akustik. Foto oleh E. Stoller dan Kawan-kawan).



Gambar 8.11 Interior Grote Zall, kompleks ruang konser De Doelen, Rotterdam (1966), dengan 2.232 tempat duduk. (Kraaijvanger, Kraaijvanger, dan Fledderus, arsitek; C.W.A. Kosten dan P.A. de Lange, konsultan akustik. Foto oleh W. van Suchtelen).



Gambar 8.12 Interior Philharmonic Hall, Lincoln Center, New York City (1962) dengan 2.836 tempat duduk. (M. Abramovitz, arsitek; Bolt, Beranek, Newmann, dan H. Keilholz, konsultan akustik. Foto oleh S. Spirito).

8.6 Rumah Opera

Sebenarnya, suatu rumah opera adalah kombinasi dari teater/panggung sandiwara dan ruang konser; akibatnya rekomendasi-rekomendasi yang bersangkutan yang telah dibahas dalam bab-bab ini dan bab-bab sebelumnya harus diikuti.

Penampilan opera sangat bergantung pada pengaturan dan dekorasi warna-warni yang disimpan dan dimainkan dari belakang layar atau sayap. Karena itu, rumah opera menggunakan panggung proscenium, dengan akibat pemisahan antara pementas dan penonton. Namun, hal ini tidak boleh menimbulkan suatu masalah akustik karena kemampuan suara penyanyi akan memberikan kekerasan yang cukup selama penonton tidak melebihi 1,500. Tetapi dalam rumah opera dengan kapasitas lebih besar (di atas 1,500), pemain jelas membutuhkan suara yang lebih keras.

Rumah opera tradisional tipe Eropa bentuk tapal kuda, dengan deretan kotak-kotak yang sangat menyerap bunyi dan RT yang relatif pendek (sekitar 1.2 sekon), tetap merupakan denah arsitektur terbaik untuk opera-opera Eropa, seperti ditunjukkan dalam Gambar 8.4.

Festspeilhaus, Bayreuth, dibangun terutama untuk memenuhi kebutuhan musik gaya Wagner (Gambar 2.7). Deretan balkon bertingkat dihilangkan, sehingga menghasilkan RT sebesar 1,55 sekon (dengan penonton sesuai kapasitas), kepenuhan nada yang besar dan ketegasan yang menurun. Hal ini agaknya kurang cocok untuk opera-opera Eropa.

Daerah pentas tiap auditorium yang digunakan untuk pagelaran opera dan acara-acara musik, membutuhkan *ruang orkestra* di bawah panggung yang cukup luas untuk 35 sampai 50 pemusik. Tiap pemusik di ruang bawah membutuhkan luas lantai sekitar 10 sampai 14 ft persegi (0,95 sampai 1,3 m persegi). Ketinggian lantai ruang orkestra bawah harus sekitar 8 ft (2,5 m) di bawah ketinggian lantai panggung untuk menyediakan cukup ruang (ketinggian) bagi pemusik-pemusik. Untuk menjamin keseimbangan antara orkestra dan penyanyi-penyanyi, bagian depan panggung yang tampak tidak boleh meliputi lebih dari sekitar sepertiga luas lantai ruang bawah orkestra. Letak lantai dan dinding-dinding ruang bawah orkestra harus memungkinkan proyeksi bunyi yang cukup dari ruang bawah orkestra ke daerah penonton.

Keluwesan yang cukup diinginkan dalam penggunaan ruang bawah orkestra. Luas dan volumenya harus dapat disesuaikan agar cocok untuk orkestra dengan berbagai ukuran dan untuk menjamin keseimbangan dalam orkestra. Di samping itu, ruang bawah orkestra harus mungkin ditutup dengan bagian-bagian yang dapat diangkat-angkat, untuk memperluas lantai penonton atau untuk membentuk panggung depan (panggung tepi). Penyesuaian ini dapat dilakukan secara mekanis, dengan panggung depan di atas lift yang dapat diturunkan untuk memperluas lantai penonton atau untuk membentuk ruang bawah orkestra, sesuai dengan kebutuhan.

Lantai panggung kebanyakan rumah opera Eropa dibuat bertangga (raked) agar memperbaiki pandangan penonton atau dirigen dan untuk menonjolkan perspektif dekor yang dicat. Kondisi ini, walau menguntungkan secara akustik dalam menguatkan pengadaan gelombang bunyi langsung dari penyanyi-penyanyi ke pendengar, merupakan gangguan bagi penari-penari balet dan menyulitkan pengaturan dekor. Dalam rumah opera masa kini, demi keuntungan akustik, pembuatan lantai panggung yang dimiringkan yang secara visual benar, tidak boleh dilakukan dan garis pandang harus memuaskan tanpa membuat kemiringan.

Dalam hubungan antara daerah penonton dan rumah panggung ruang-ruang gandeng (coupled spaces) harus dihilangkan. Namun, rumah panggung, tidak boleh dibuat terlampau mati atau penyanyi-penyanyi akan kehilangan lingkungan dengung yang membantu.

Dalam rumah-rumah opera pengadaan panggung pinggir yang menjorok ke dalam daerah penonton disarankan, untuk mereduksi jarak rata-rata antara penyanyi dan pendengar dan mengakibatkan langit-langit lebih efektif dalam pengadaan pemantulan dengan waktu tunda singkat bagi penonton.

Nilai volume per tempat duduk yang direkomendasi untuk rumah opera tipe Eropa diberikan dalam Tabel 6.1. Tabel 8.3 memuat data akustik arsitektur dari rumah-rumah opera yang disusun dari berbagai sumber. Gambar 8.13 sampai 8.15 menggambarkan interior dua rumah opera yang dibangun baru-baru ini, yang secara akustik sangat berhasil.

TABEL 8.3 Data Akustik-arsitektur Rumah-rumah Opera
Dalam urutan kapasitas tempat duduk yang membesar

Nama dan tahun penyelesaian	Bentuk lantai*	Volume *V* daerah penonton, cu ft (cu m)	Kapasitas penonton (+ yang berdiri)	*V* per tempat duduk penonton ft kubik (m kubik)	RT frekuensi tengah, sekon
Opernhaus, Cologne, Germany, 1957	F	305.000 (8.650)	1.346	225 (6,4)	1,6
Staatsoper, Berlin, Germany, 1742, 1954	H	247.000 (7,000)	1.488	166 (4,7)	1,0
Staatsoper, Hamburg, Germany, 1955	F	343.000 (9,700)	1.650	208 (5,9)	1,25
Staatsoper, Vienna, Austria, 1869, 1955	H	376,000 (10.660)	1.658 (+560)	195 (5,5)	1,45
Staatsoper, Leipzig, East Germany, 1960	F	340.000 (9.600)	1.700	201 (5,7)	1,45
Festspielhaus, Bayreuth, Germany, 1876	R	364.000 (10.300)	1.800	202 (5,7)	1,55
Théâtre National de l'Opéra, Paris, France, 1875	H	352.000 (9.960)	2.131 (+200)	158 (4,5)	1,1†
Royal Opera House, London, England, 1858	H	432.500 (12,240)	2,180 (+58)	196 (5,6)	1,1
Teatro Alla Scala, Milan, Italy, 1778	H	397.000 (11.245)	2.289 (+400)	160 (4,5)	1,2
Teatro Colon, Buenos Aires, Argentina, 1908	H	726.300 (20.550)	2,487 (+600)	261 (7,4)	1,7†
War Memorial Opera House, San Francisco, Calif., 1932	F	738.600 (20.900)	3.252 (+300)	217 (6,1)	1,6†
New Metropolitan Opera House, New York, N.Y., 1966	F	950.000† (27,000)	3.788	250† (7,1)	1,6†

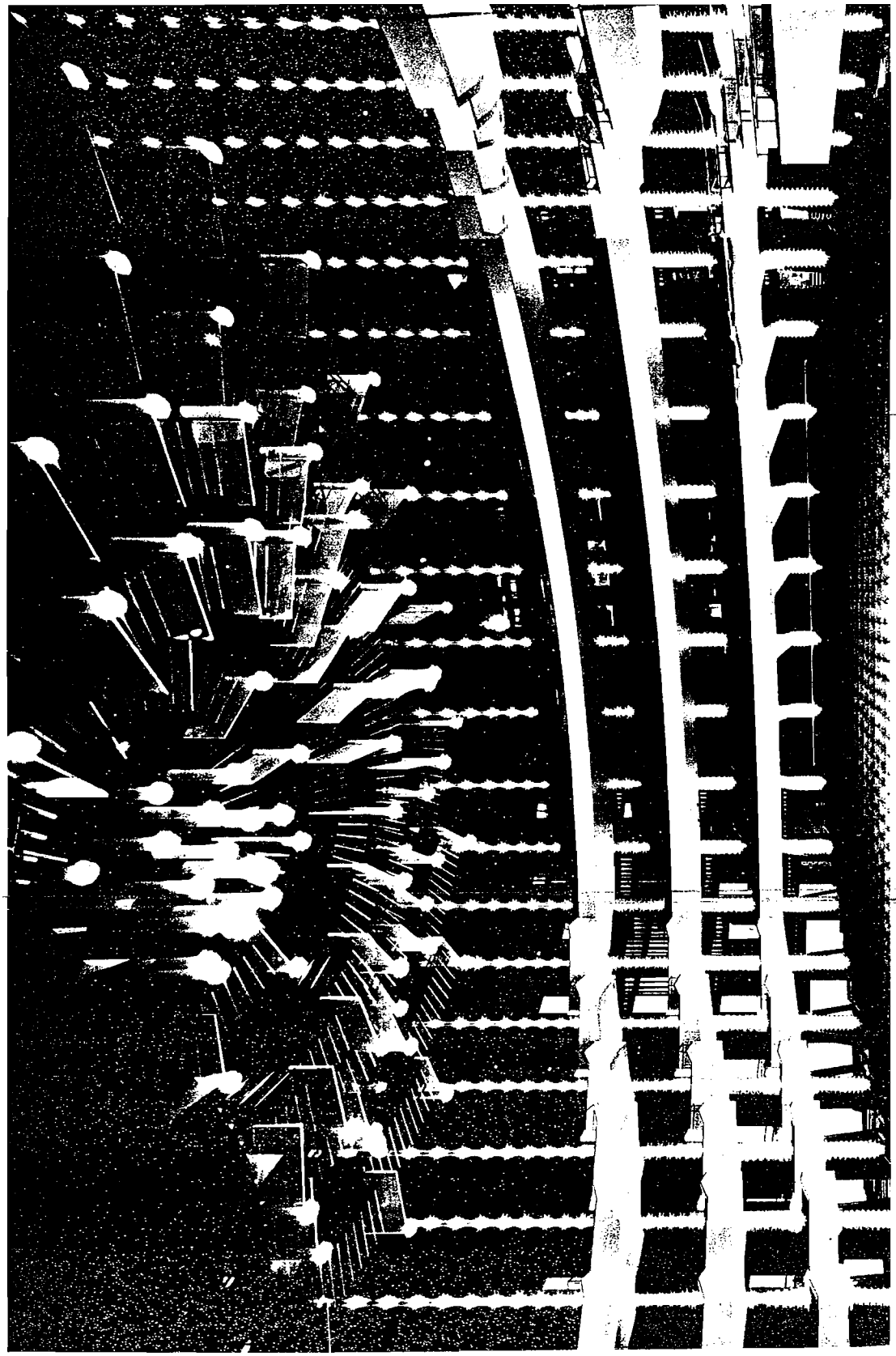
* R = segiempat, F = bentuk kipas, H = bentuk tapal kuda.
† Kira-kira.

8.7 Ruang Latihan Pagelaran (Rehearsal Room), Ruang Band, Kamar Latihan (Practice Booths), dan Kamar untuk Mendengarkan.

Memenuhi kebutuhan akustik ruang dalam ruang-ruang yang relatif kecil ini, biasanya jauh lebih mudah daripada dalam ruang konser atau rumah-rumah opera. Dinding-dinding ruang yang dibentuk dengan baik, pengadaan difusi yang cukup, pengendalian RT yang baik, lapisan-lapisan akustik yang dipilih dengan hati-hati serta didistribusi dengan baik, dan pengendalian bising dalam jumlah yang tinggi akan menghasilkan ruang latihan yang secara akustik efisien. Bila diharapkan kondisi akustik yang istimewa, RT harus dapat disesuaikan agar memenuhi persyaratan acara musik tertentu. Kondisi akustik dalam ruang latihan harus meniru kondisi auditorium (dengan penonton sesuai kapasitas dengan mana mereka dihubungkan secara fungsional.

Departemen sekolah musik sering mempunyai ruang latihan band, ruang latihan paduan suara, ruang pemberi instruksi/pengarahan (ruang kuliah musik), ruang latihan instrumen, ruang rekaman dan mendengar, kantor guru, perpustakaan musik, dan gudang instrumen. Kamar-kamar mendengar digunakan untuk memonitor dan mengedit piringan, pita magnetik, dan kegiatan/acara musik lain. Kondisi akustik dalam kamar latihan dan kamar mendengar harus menyerupai kondisi akustik ruang keluarga pada umumnya, dengan RT sekitar 0.4 sampai 0.5 detik.

Dalam rancangan akustik suatu ruang yang digunakan untuk mengajar, latihan pagelaran atau latihan musik (1) luas lantai, tinggi ruang, bentuk ruang, dan volume yang sesuai harus disediakan untuk memperoleh dengung, difusi, keseimbangan, dan keterpaduan yang tepat; (2) jumlah bahan-bahan penyerap bunyi yang banyak harus digunakan untuk membuat ruang-ruang ini cukup mati sehingga daya akustik yang berlebihan yang ditimbulkan band sekolah atau masing-masing instrumen dapat diredam; (3) transmisi bunyi yang tak diinginkan antara ruang-ruang yang digunakan secara serentak harus direduksi sampai suatu minimum yang

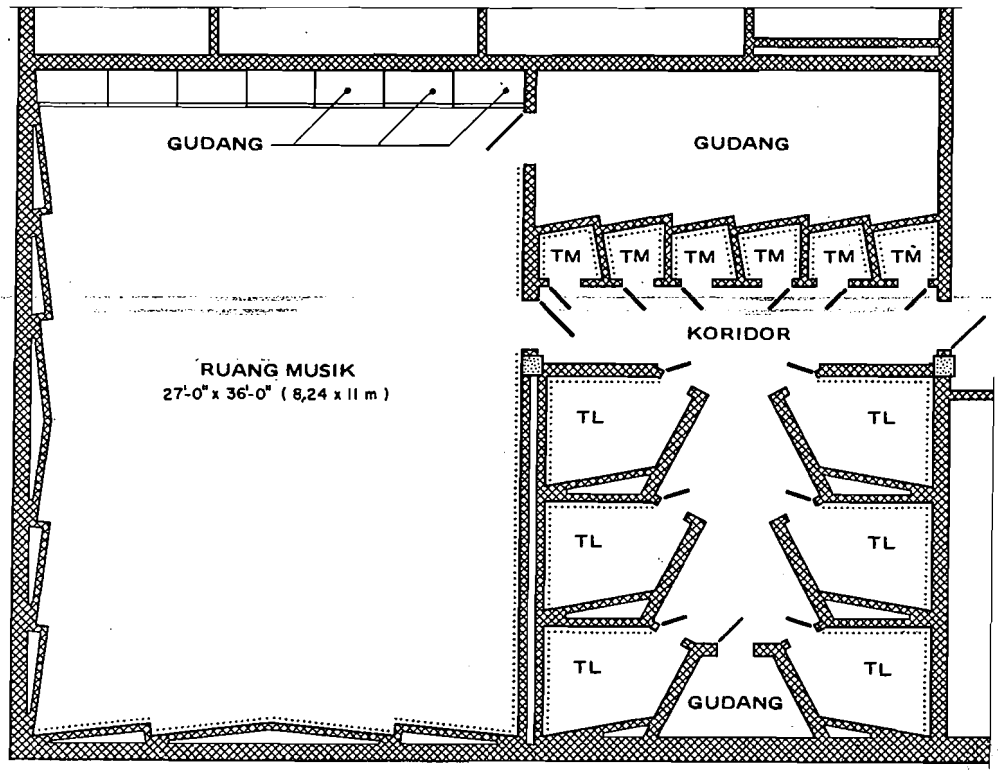


Gambar 8.13 Interior Opera Hall, National Arts Center, Ottawa (1969) dengan 2.300 tempat duduk. (Affleck, Desbarats, Dimakopoulos, Lebensold, dan Sise, arsitek; Bolt, Beranek, dan Newman, konsultan akustik. Foto oleh J. Evans).

Gambar 8.14 Gambaran auditorium the Metropolitan Opera House, Lincoln Center, New York City (1966), dengan 3.800 tempat duduk. (W.K. Harrison, arsitek; C.M. Harris dan V.L. Jordan, konsultan akustik. Foto oleh B. Serating).

absolut. Dalam ruang-ruang ini, kesejajaran antara permukaan yang berhadapan harus dihindari, paling sedikit dua dinding yang berdampingan harus diberi bahan penyerap bunyi seluruhnya sampai ke dasarnya; demikian pula dengan sebagian besar atau bila mungkin seluruh langit-langit. Karena ketinggian ruang-ruang ini selalu kurang cukup, maka disarankan agar

Gambar 8.15 Elemen penyebab difusi di Opera Hall, National Arts Center, Ottawa. (Foto oleh R. Jowett.)



Gambar 8.16 Ruang-ruang departemen musik, Ecole Secondaire Polyvalente, Cabano, Quebec (1968). (Labelle, Labelle, dan Marchand, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik.)

tidak menggunakan langit-langit gantung. Selain itu disarankan pula agar sisi bawah konstruksi lantai di atas dibiarkan telanjang dan diatur secara akustik untuk menyediakan insulasi bunyi yang cukup terhadap bising dari atas tanpa langit-langit gantung.

Pentingnya insulasi bunyi yang banyak antara ruang-ruang yang sensitif secara akustik pada departemen musik ini harus diperhatikan dengan benar. Pemisahan letak yang baik tidak hanya menyebabkan sirkulasi yang memuaskan, tetapi juga akan membantu insulasi bunyi yang baik dengan biaya terendah. Pengendalian bising di kamar latihan dan kamar untuk mendengar yang dapat menerima bunyi secara langsung dari ruang band atau ruang paduan suara adalah sangat mahal; mereka harus dipisahkan dengan baik dari ruang-ruang di mana bunyi dengan tingkat bunyi tinggi dihasilkan, lewat ruang penahan (buffer rooms) seperti gudang, dan asesibel dari serambi dan pengunci bunyi (sound lock), yang dibangun dengan tembok, lantai dan pintu yang menginsulasi bunyi dengan memadai (Bab 14). Pipa-pipa ventilasi dan pengkondisi udara tidak boleh mentransmisi bunyi musik yang tak diinginkan dari satu tempat ke tempat lain, baik secara horisontal maupun vertikal (Bab 16).

Gambar 8.16 menunjukkan berbagai ruang sekolah menengah departemen musik.

KEPUSTAKAAN

Buku

Olson, H.F.: *Musical Engineering,* McGraw-Hill Book Company, New York, 1952, 369 halaman.

Culver, C.A.: *Musical Acoustics,* McGraw-Hill Book Company, New York 1956, 305 halaman.

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings,* Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, bab 4.

Beranek, L.L.: *Music Acoustics and Architecture,* John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962, 586 halaman.

Majalah

Bagenal, H.: "Concert Halls", *J. RIBA,* Januari 1950, halaman 83–93.

"Royal Festival Hall", *Architectural Review,* Juni 1951, halaman 337–394.

Shoesmith, D., and M. Santiago: "Reverberators: Post-war German Concert Halls and Opera Houses", *Architectural Review,* Agustus-September 1959, halaman 86–99.

Johnson, R.: "Auditorium Acoustics for Music Performance", *Architectural Record,* Desember 1960, halaman 158–182.

Beranek, L.L.: "Musical-acoustics Vocabulary", *Sound,* Juli-Agustus 1962, halaman 22–26.

Goodfriend, L.S: "Acoustics for School Music Departments", *Sound,* Januari-Pebruari 1963, halaman 28–32.

Lanier, R.S.: "Acoustics in-the-round at the Berlin Philharmonic", *Architectural Forum,* Mei 1964, halaman 98–105.

"A 'Pure Hall' for Music: Warner Concert Hall, Oberlin College", *Architectural Record,* Desember 1964, halaman 128–129.

Allen, W.: "Acoustics Twenty Years after the Festival Hall", *J. RIBA,* Pebruari 1969, halaman 62–67.

Johnson, R.: "Opera Hall Acoustics", *Architecture Canada,* Mei 1969, halaman 46–47.

"National Arts Center, Ottawa", *The Canadian Architect,* Juli 1969, halaman 30–65.

BAB
SEMBILAN

Tempat-tempat Pertemuan dengan Persyaratan Akustik Campuran

Auditorium yang dibahas dalam bab-bab yang lewat banyak digunakan untuk tujuan ganda, tetapi dalam rancangan akustiknya prioritas harus diberikan pada pembicaraan (Bab 7) atau pada musik (Bab 8). Bab sembilan ini berhubungan dengan tempat-tempat pertemuan di mana kondisi-kondisi yang disukai harus kurang lebih sama baiknya untuk pembicaraan maupun untuk musik.

9.1 Gereja dan Tempat Ibadah

Dengung yang berlebihan dan kurangnya inteligibilitas pembicaraan adalah ciri akustik atau agaknya cacat utama, yang dijumpai di gereja-gereja abad pertengahan, terutama yang besar. Karakteristik akustik ini tidak hanya mempengaruhi gaya musik organ yang digubah untuk gereja tetapi juga telah meninggalkan ciri mereka pada pola liturgi. Selanjutnya, masuknya musik paduan suara polifonik, nyanyian, dan bahkan mungkin penggunaan bahasa kuno dihubungkan dengan kondisi yang sangat dengung dalam gereja-gereja abad pertengahan.

Perombakan arsitektur gereja yang terus-menerus dan perubahan dalam liturgi tampak berhubungan dengan makin pentingnya memperbaiki kondisi lingkungan di gereja. Menurut konsep liturgi yang baru, jemaat harus makin dilibatkan dalam dialog antara penyelenggara misa dan pengunjung. Karena jemaat juga berpartisipasi dalam bagian musik selama kebaktian, gereja harus dirancang, secara arsitektur dan secara akustik, untuk menyediakan dan memungkinkan dialog verbal dan lewat musik ini.

Auditorium gereja biasanya terdiri dari beberapa ruang bergandengan (bagian tengah ruang gereja, mimbar, kapel, tempat membaptis, tempat mengaku dosa, loteng tempat organ dan paduan suara, dan lain-lain). Karena itu dalam rancangan akustik, perhatian harus diberikan pada persyaratan/kebutuhan akustik masing-masing ruang ini.

1. Daerah mimbar harus cukup dinaikkan dan dikelilingi oleh pagar pemantul supaya tersedia keadaan yang baik untuk memproyeksi pembicaraan ke arah jemaat.

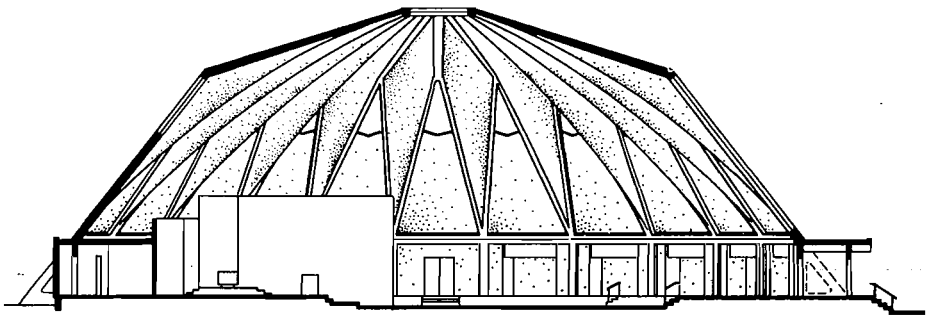
2. Organ dan paduan suara harus berada dalam daerah yang menyediakan lingkungan akustik yang disukai untuk musik, dan mereka harus dikelilingi oleh permukaan-permukaan pemantul tanpa menimbulkan gema, gaung atau pemusatan bunyi. Hubungan letak antara pemain organ, organ, pemimpin paduan suara, dan paduan suara harus dipertimbangkan dengan teliti.

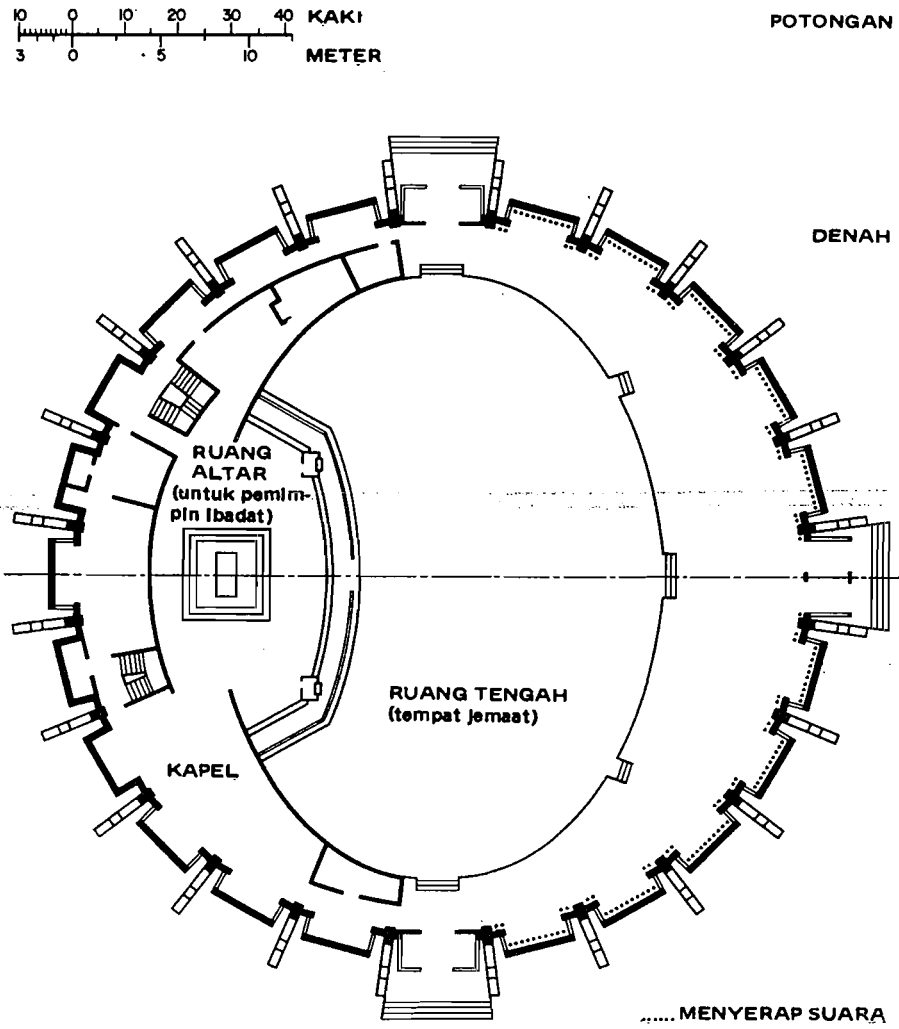
3. Tiap sektor jemaat harus menikmati kondisi mendengar yang baik selama tiap acara kebaktian. Karena ruang dalam auditorium gereja selalu lebih banyak daripada yang dibutuhkan secara akustik, pengendalian RT akan membutuhkan sejumlah lapisan akustik.

4. Ruang-ruang gandeng membutuhkan pengendalian dengung tersendiri supaya kondisi dengung di dalamnya tidak bertentangan dengan kondisi dengung yang berlaku dalam bagian utama auditorium gereja.

5. Perhatian yang luar biasa harus diberikan untuk mengeliminasi bising sebagai kebutuhan awal untuk meditasi dan berdoa.

Masalah akustik menjadi makin rumit dan makin terlibat bila volume auditorium gereja bertambah, terutama bila lantai melengkung. Lantai bentuk melingkar atau melengkung biasanya mempunyai atap kubah, dengan demikian menimbulkan cacat akustik yang serius seperti gema, pemusatan bunyi, pemantulan yang sangat lama, dan distribusi bunyi yang tak merata. Cacat-cacat ini dapat dieliminasi dengan menggunakan permukaan-permukaan yang sangat menyerap pada bagian-bagian yang rawan atau dengan memisahkan bagian yang melengkung





ST. JOHN BREBEUF'S CHURCH, LASALLE, QUE. (1965) KAPASITAS: 875
J. BIRD ARSITEK. L.L. DOELLE KONSULTAN AKUSTIK

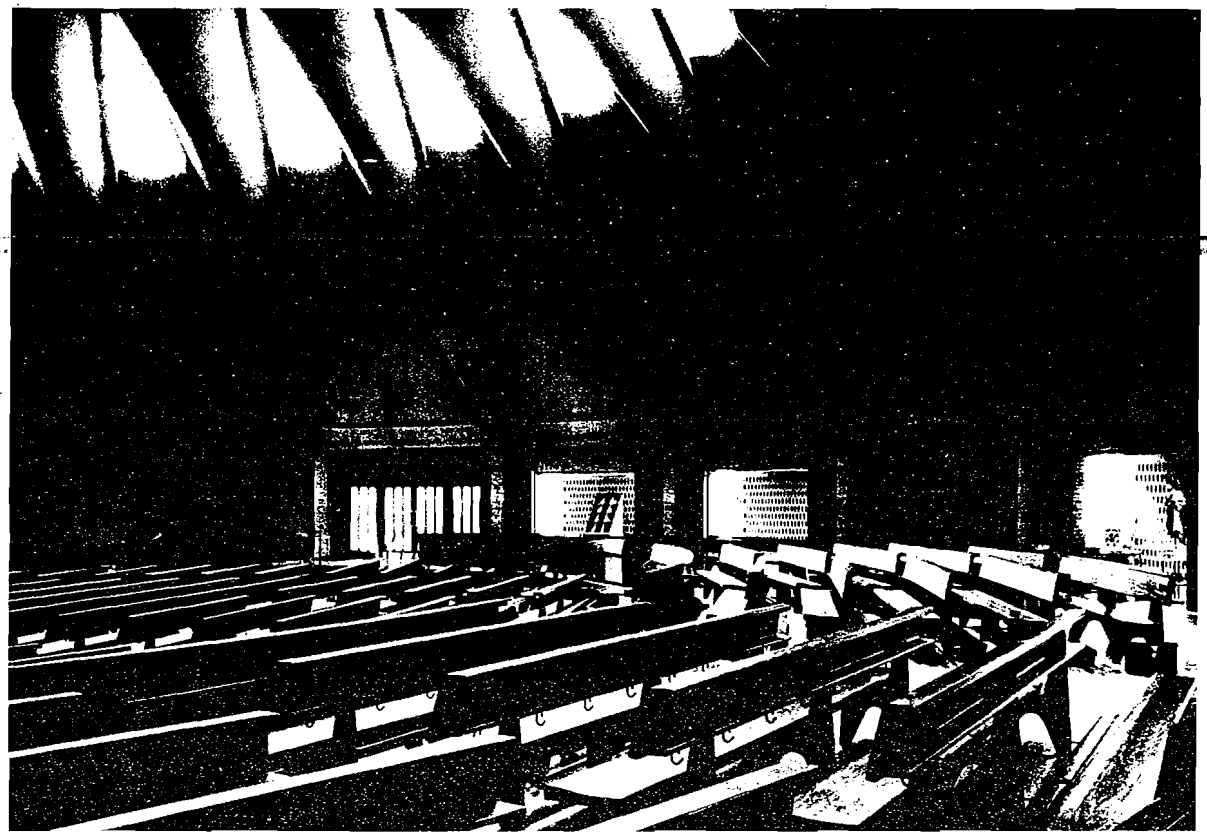
Gambar 9.1 Denah gereja dengan tepi yang melengkung dan kubah. Lapisan penyerap bunyi sepanjang dinding meniadakan cacat akustik yang berhubungan dengan bentuk ruang melengkung dan akan menyebabkan RT yang cocok dalam auditorium gereja.

dari bunyi datang dengan pemantul-pemantul besar yang digantung atau penghambur (diffuser).

Dalam rancangan akustik gereja-gereja, perlu diperhatikan hakekat pelayanan keagamaan dalam agama-agama yang berbeda karena RT optimum akan tergantung pada apakah khotbah ataukah musik yang dianggap sebagai bagian yang lebih penting dalam kebaktian. Pilihan harus diberikan pada elemen yang lebih penting karena jarang dimungkinkan untuk menyediakan kondisi mendengar yang baik sekali untuk pidato maupun untuk musik pada saat yang sama. Waktu dengung yang disarankan untuk auditorium gereja bermacam-macam agama ditunjukkan dalam Gambar 6.14. Tergantung pada kepentingan (importance) relatif pidato atau musik, rekomendasi yang bersangkutan yang dibahas dalam Bab 5 sampai 7 harus diperhatikan.

Jelas bahwa ada kesenjangan yang lebar antara RT optimum untuk pidato dan untuk musik organ. Karena itu sulit untuk memutuskan kompromi yang paling dapat diterima antara dua jenis bunyi ini, terutama dalam gereja-gereja di mana penekanan khusus diberikan pada kedayagunaan lengkap dari organ. Situasi ini dapat menjadi serius jika ukuran akustik ruang yang ditetapkan berada dalam tangan pembuat organ yang eksklusif. Dalam minat pada nada organ yang membumbung tinggi, kalaupun pernah, ia jarang ragu-ragu untuk merekomendasi suatu RT yang baik untuk musik organ saja, dan sama sekali tak memperhatikan kebutuhan inteligibilitas pembicaraan. Akibat yang serius, yaitu tidak adanya inteligibilitas pembicaraan yang menghasilkan hilangnya minat dalam kebaktian, sudah dikenal. Nampaknya masalah serius untuk menyediakan RT yang sesuai dalam gereja-gereja tiba makin dekat ke pemecahan dalam masa yang akan datang dengan menggunakan reverberator elektronik, yang terkenal dalam abad ini dalam siaran radio dan industri rekaman. Auditorium gereja dapat dirancang dengan RT pendek untuk inteligibilitas pembicaraan tinggi, sedang bunyi paduan suara dan organ dapat ditangkap dengan mikrofon khusus dan dipasang lewat reverberator elektronik ke dalam pengeras suara, memperpanjang RT bagian musik kebaktian seperti yang dibutuhkan.

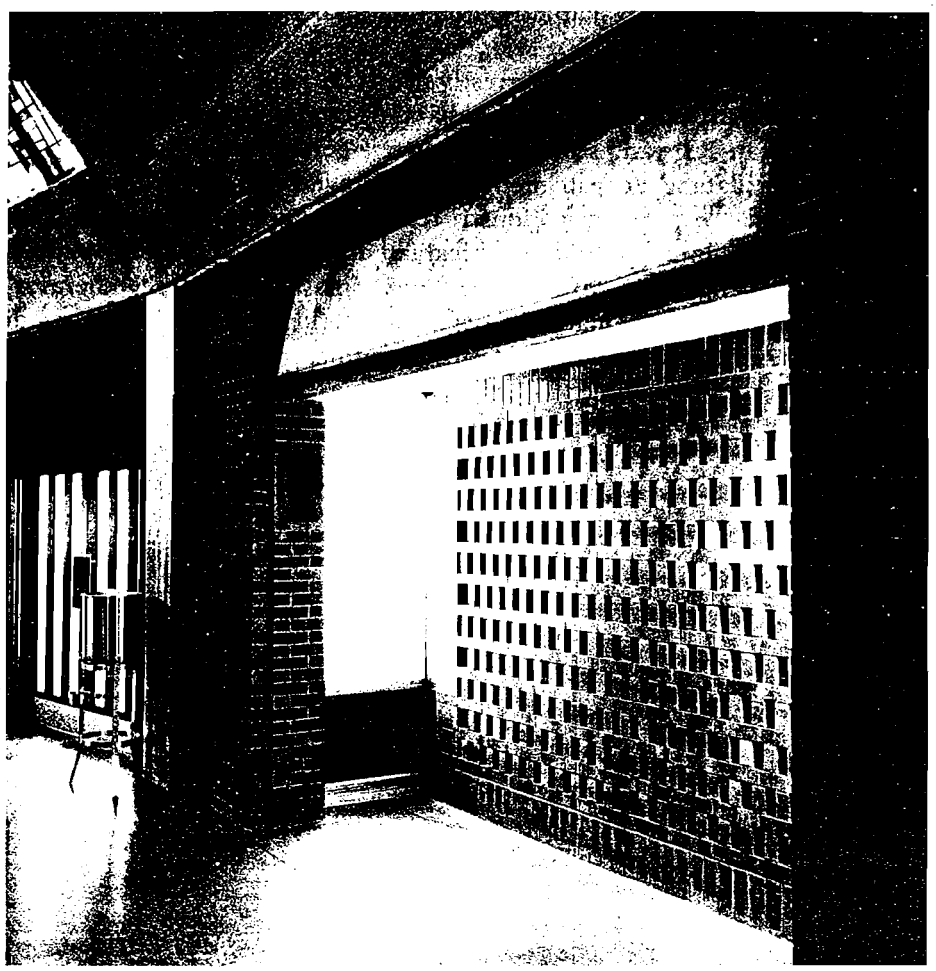
Nilai volume per tempat duduk rata-rata untuk auditorium gereja diberikan dalam Tabel 6.1.



Gambar 9.2 Interior gereja St. John Brebeuf, La Salle, Quebec dengan 875 tempat duduk. (Foto oleh Studio Bowe.)

Karena jumlah dan intensitas sumber bising yang terus bertambah di dalam dan di luar gedung gereja, sistem penguat-pidato setahap demi setahap menjadi suatu keharusan walaupun dalam gereja-gereja yang relatif kecil. Sistem semacam itu harus dirancang, ditempatkan dan dioperasikan sedemikian hingga jemaat tidak menyadari akan keberadaannya.

Gambar 9.1 menunjukkan denah gereja melengkung dengan kubah. Gelombang bunyi yang berasal dari mimbar dan dipantulkan dari sekelilingnya yang melengkung dan kubah mempunyai kecenderungan untuk menimbulkan gema dan pemusatan bunyi di daerah tertentu di lantai, yang dapat menghasilkan "titik panas" yang sangat tak disukai di sana. Cacat akustik ini diatasi dengan (1) penggunaan dinding bata penyerap bunyi yang dipasang sekeliling auditorium (Gambar 9.2 dan 9.3); (2) penggunaan penyerap yang cukup dengan lapisan semprotan limpet-asbestos sepanjang permukaan interior kubah; (3) penggabungan permukaan tak teratur difusif ukuran besar dalam bentuk kulit beton yang siap pakai untuk kerangka kubah; dan (4) pemasangan sistem penguat pembicaraan yang terarah dan berkualitas tinggi. Pengaturan penyerap bunyi yang digunakan di auditorium gereja ini juga berperan/membantu dalam pengendalian dengung.



Gambar 9.3 Dinding bata berlubang yang menyerap bunyi sekeliling gereja St. John Brebeuf. (Foto oleh Studio Bowe.)

9.2 Auditorium Serbaguna dan Ruang Rekreasi (Community Halls)

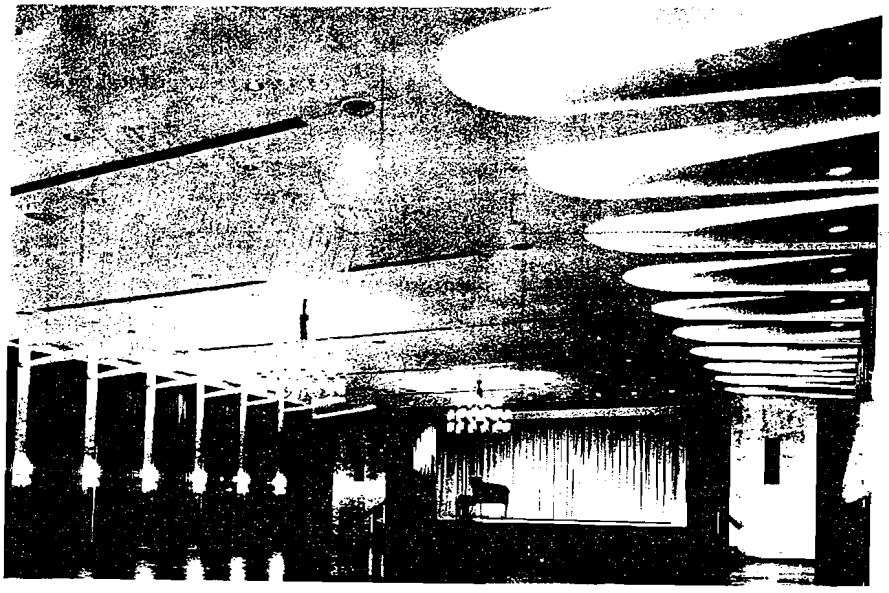
Karena auditorium serbaguna harus melayani berbagai jenis acara dengan sama baiknya, dalam rancangan akustiknya dasar-dasar umum yang disebutkan dalam Bab 6, dengan rekomendasi tambahan untuk pidato dan musik yang dibahas masing-masing di Bab 7 dan 8, harus diikuti. Auditorium kotapraja, atau gedung kesenian pemerintah adalah contoh khas kelompok ini. Mereka dapat melayani pemakainya yang berbeda-beda itu dengan baik bila kompromi yang paling baik antara akustik pembicaraan dan akustik musik yang optimum dicapai.

Masalah akustik khusus sering ditimbulkan di auditorium kotapraja yang lantainya tak dimiringkan karena kebutuhan untuk pameran, basar, dansa, pertemuan sosial dan makan malam. Lantai datar menyebabkan masalah-masalah akustik berikut: (1) ia menyulitkan pengadaan jumlah bunyi langsung yang dibutuhkan penonton; (2) bila langit-langit reflektif dan horisontal, pemantulan bolak-balik (gaung) dapat berasal dari antara lantai dan langit-langit bila daerah penonton tidak diberi kursi-kursi; (3) tempat duduk yang dapat di bawa-bawa biasanya mempunyai bagian empuk (kalau ada), dalam jumlah yang sangat sedikit, jadi menyediakan penyerapan yang sangat kurang dibandingkan tempat duduk yang dibungkus dengan bahan empuk yang lengkap (upholstered).

Hal-hal berikut harus diperhatikan dalam rancangan akustik auditorium yang sangat besar.

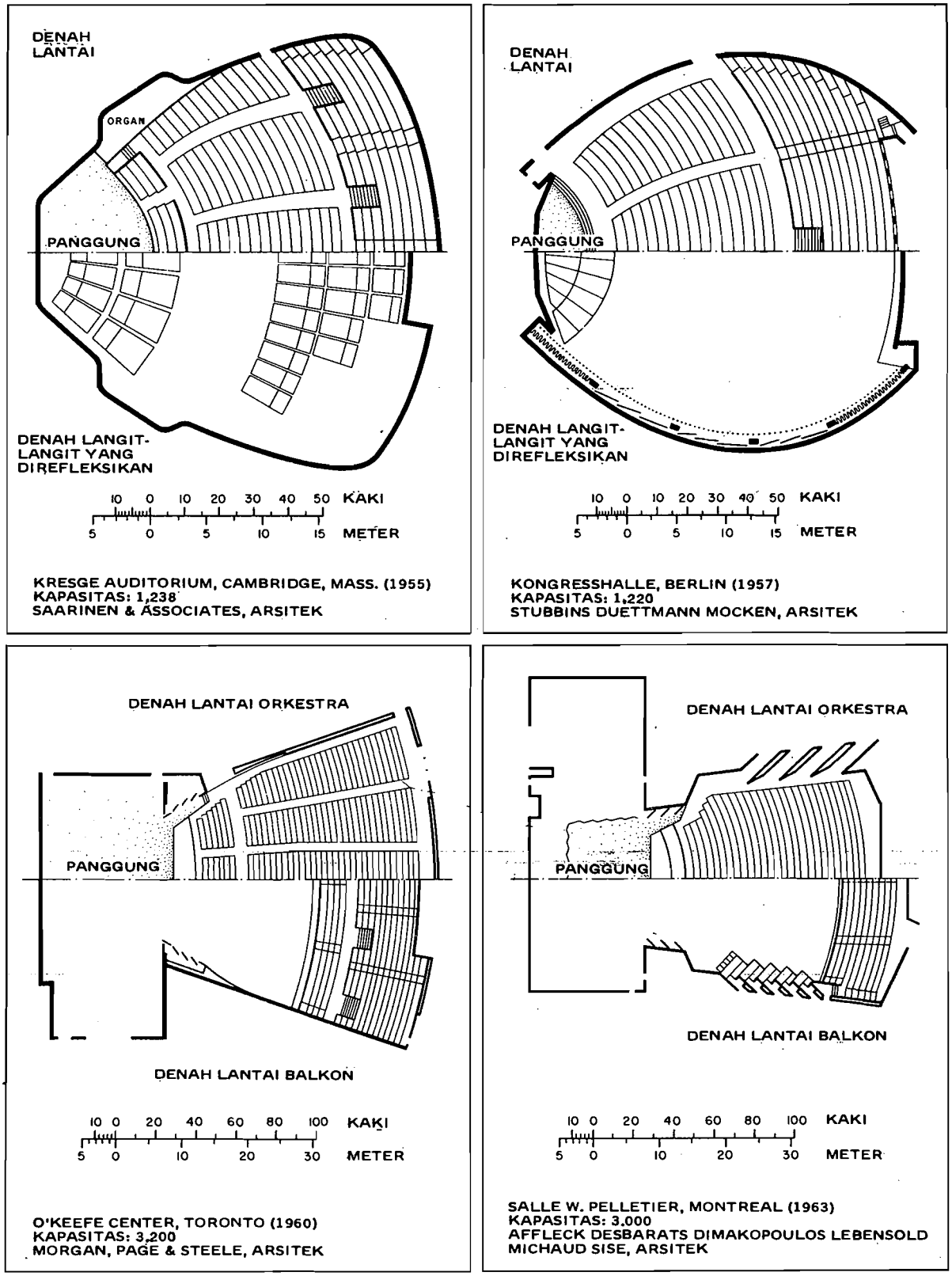
1. Akhir bagian penerima harus dimiringkan sebanyak garis pandang memungkinkan.
2. Jumlah permukaan-permukaan pemantul yang banyak (panel) harus ditempatkan dekat sumber bunyi dan bila perlu, digantung di langit-langit untuk mengadakan energi bunyi pantul dengan waktu tunda singkat. Permukaan-permukaan pemantul ini harus diatur sedemikian hingga menjamin distribusi penguatan bunyi yang merata dalam seluruh auditorium.
3. Lantai panggung harus menjorok sejauh mungkin ke daerah penonton.
4. Usaha harus dibuat untuk memungkinkan bagian lantai penonton dimiringkan atau dinaikkan, paling sedikit pada sisi-sisi atau pada bagian belakang daerah penonton utama.
5. RT optimum harus terjamin untuk setengah kapasitas penonton karena penyimpangan yang cukup besar dari jumlah yang hadir harus diharapkan.
6. Dalam auditorium dengan lantai datar, bila pengeras suara digunakan, maka ia harus ditempatkan agak lebih tinggi daripada bila ditempatkan dalam auditorium dengan lantai yang dimiringkan.

Balai pertemuan (social halls) dalam gedung gereja (Gambar 9.4) merupakan tipe khusus dari auditorium serbaguna. Dalam konstruksi gedung gereja, sering terjadi bahwa sangat sedikit uang (bila ada) disisakan untuk perawatan akhir dinding-dinding ini, yang biasanya ditempatkan di ruang bawah tanah/basement. Dalam kebanyakan kasus terdapat lantai beton dan lapisan beton telanjang di atasnya, dan karena itu mereka dapat digambarkan sebagai ruang dengung yang besar, seringkali dengan RT antara 5 sampai 8 sekon. Kendati akustik yang jelek ini, mereka digunakan untuk jangkauan pertemuan keagamaan, pendidikan, kebudayaan, sosial dan politik yang paling luas, tanpa mutu akustik yang baik untuk satupun dari mereka. Perbaikan akustik (dijelaskan secara singkat dalam Bab 12), paling sedikit dengan cara sederhana, akan merupakan kontribusi yang paling penting bagi keberhasilan penggunaan ruang-ruang tadi.

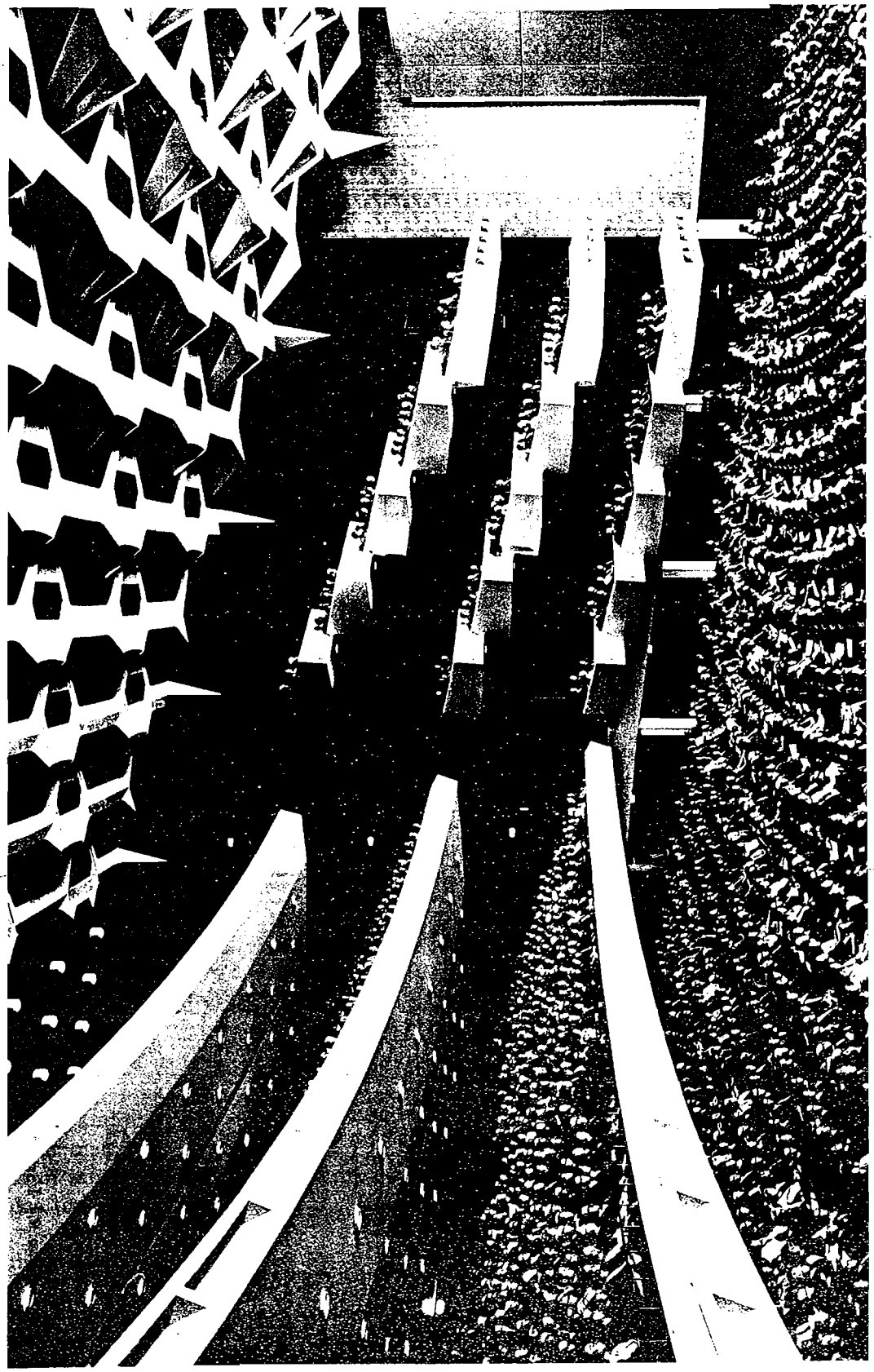


Gambar 9.4 Interior ruang sosial the Shaar-Hashomayim Congregation, Montreal (1968) (Eliasoph dan Berkowitz, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Studio Bowe.)

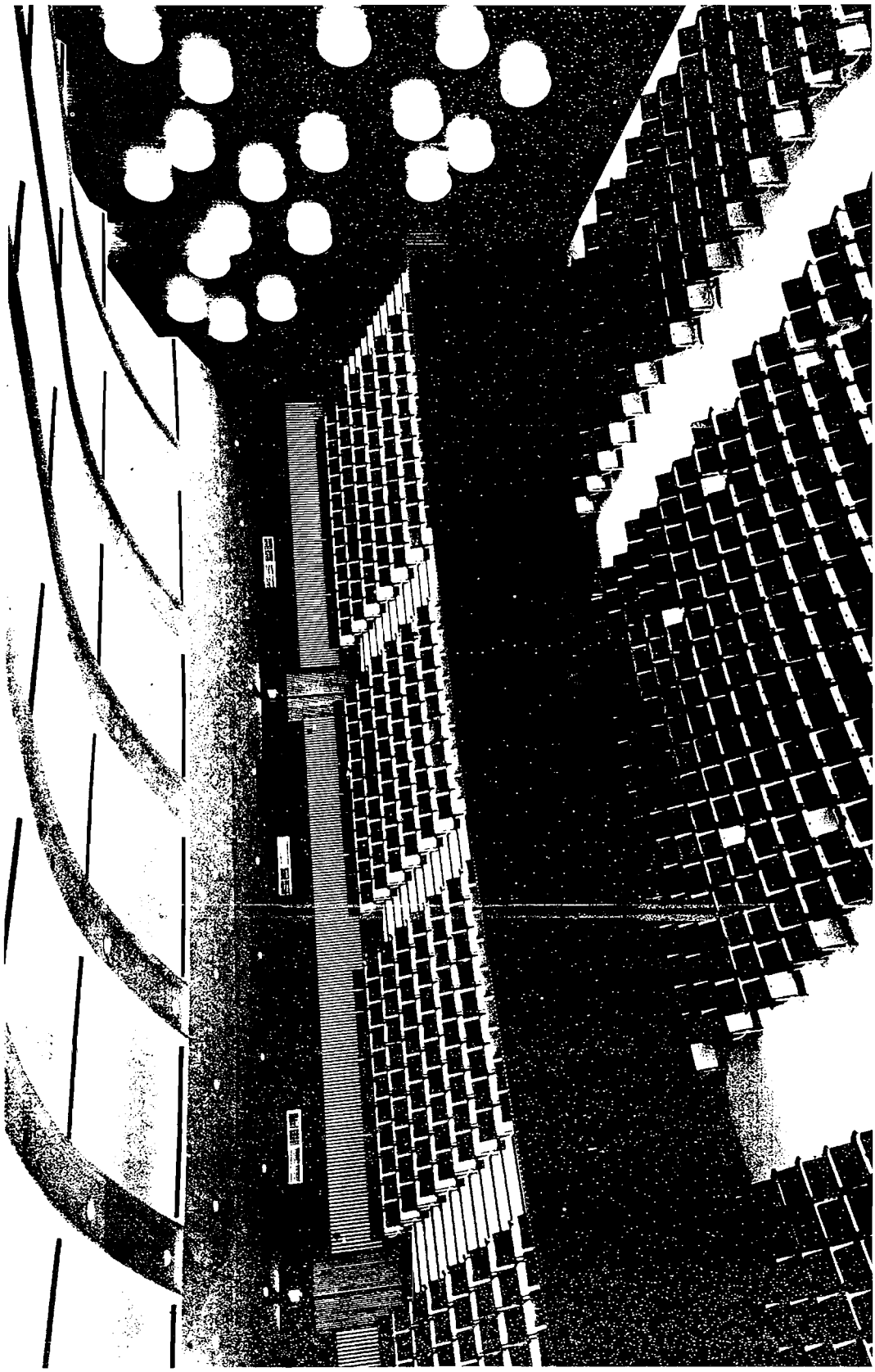
Gambar 9.5 sampai 9.7 dan Tabel 9.1 menggambarkan dan mendaftar contoh-contoh auditorium serbaguna.



Gambar 9.5 Contoh-contoh auditorium serbaguna.



Gambar 9.6 Interior Salle Wilfrid Pelletier dengan 3.000 tempat duduk, auditorium serbaguna di Montreal (1963). (Affleck, Desbarats, Dimakopoulos, Lebensold, Michaud, dan Sise, arsitek; Bolt, Beranek, Newman, dan N. Pappas dan Kawan-kawan; konsultan akustik. Foto oleh Panda dan Kawan-kawan).



Gambar 9.7 Interior auditorium serbaguna di Quebec (1963) dengan 1.000 tempat duduk. (Amyot dan Vagi, arsitek; L.L. Doelle, konsultan akustik. Foto oleh Legare & Kedl).

TABEL 9.1 Auditorium Serbaguna (Disusun secara Kronologis)

Nama	Lokasi	Tanggal penyelesaian	Kapasitas tempat duduk
Eastman Theater	Rochester, N.Y.	1923	3.347
Aula Magna	Caracas, Venezuela	1954	2,660
Grace R. Rogers Auditorium	New York, N.Y.	1954	708
Henry and Edsel Ford Auditorium	Detroit, Mich.	1956	2.926
Civic Auditorium	Bofu, Japan	1960	1,604
Arie Crown Theater	Chicago, Ill.	1961	5.081
Civic Auditorium	Nagasaki, Japan	1962	1.800
Opera House	Seattle, Wash.	1962	3,075
Civic Auditorium	Jacksonville, Ala.	1962	3,200
Civic Auditorium	Fukuoka, Japan	1963	1.800
Clowes Hall	Indianapolis, Ind.	1963	2.200
G. Gammage Auditorium	Tempe, Ariz.	1964	3,000
Memorial Auditorium	Chiba, Japan	1965	960
Civic Auditorium	Gifu, Japan	1966	1.500
Civic Auditorium	Niigata, Japan	1967	1.874
Civic Auditorium	Iizuka, Japan	1967	1.000
National Cultural Center	Manila, Phillippine Islands	1968	2,000
Grand Théâtre	Quebec, Que.	1971	1.780

9.3 Teater Bioskop

Teater bioskop menggambarkan auditorium berguna tunggal yang eksklusif. Bila ia dirancang secara akustik dengan baik, maka sukar untuk menggunakan ruang tersebut untuk tujuan-tujuan lain di luar pemutaran film.

Dalam bermacam tipe auditorium yang dibahas sejauh ini baik sumber bunyi maupun penonton ada, dan kedua-duanya hidup. Dalam auditorium-auditorium semacam itu, dengan menganggap suatu sumber bunyi normal, kondisi mendengar hanya tergantung pada kualitas akustik ruang. Dalam teater bioskop, sumber bunyi asli tidak ada tetapi direproduksi dari rekaman bunyi film (sound track) oleh pengeras suara. Bunyi reproduksi yang didengar dalam auditorium menggambarkan karakteristik akustik studio film di mana adegan diambil, misalnya, ciri akustik suatu katedral (dengan RT 8 sekon) atau padang salju (daerah yang mati secara akustik). Ini berarti bahwa rekaman bunyi pada film mempunyai RT built in/terpasang yang tak tergantung pada RT bioskop di mana film dipertunjukkan.

Suatu sasaran penting dalam rancangan akustik teater bioskop adalah mencerminkan pengaruh akustik ruang auditorium bioskop sampai suatu minimum agar melindungi lingkungan akustik asli dari film seperti yang direkam pada rekaman bunyi dan seperti direproduksi pengeras suara di belakang layar. Sasaran ini dicapai dengan menyediakan RT yang relatif pendek dalam auditorium bioskop, seperti yang disarankan dalam Gambar 6.14. Perbaikan yang banyak dalam kualitas film dan kemampuan peralatan bunyi yang tinggi dalam mereproduksi tidak akan ada artinya kecuali mereka cocok dengan kondisi dengung yang baik dalam auditorium bioskop. Walaupun demikian, RT tidak boleh terlampau pendek, karena ini akan menyebabkan auditorium mati dan daya akustik yang dibutuhkan dari penguat suara akan sangat banyak. Ini mengakibatkan kekerasan yang mengganggu di tempat duduk depan dan tengah.

Di samping rekomendasi yang diberikan di Bab 6 dan 7, kondisi mendengar yang disukai didapatkan dalam teater bioskop dengan ukuran-ukuran akustik ruang sebagai berikut.

1. Bentuk lantai empat persegi dengan lantai horisontal harus dihindari. Denah lantai berbentuk kipas dan cukup dimiringkan akan paling cocok dengan persyaratan untuk melihat dan kebutuhan akustik.

2. RT untuk reproduksi bunyi monofonik harus sedekat mungkin dengan nilai optimum yang ditunjuk dalam Gambar 6.14. Untuk bunyi stereofonik, RT harus agak lebih kecil.

3. Nilai volume per tempat duduk harus dijaga antara 100 sampai 150 feet kubik (2,8 sampai 4,3 meter kubik), sebaiknya lebih dekat dengan bilangan yang lebih rendah.

4. Pemantul bunyi di atas, harus digunakan di atas layar; seluruh langit-langit atau paling sedikit sebagian besar daerah tengah harus dibuat reflektif.

5. Kesenjangan penundaan waktu mula-mula (Bab 6) antara bunyi langsung dari pengeras suara (di belakang layar) dan bunyi pantul pertama dari tiap permukaan pemantul tidak boleh melampaui 40 msekon di sebarang bagian daerah penonton, sesuai dengan perbedaan jejak 45 ft (13,7 m) antara bunyi langsung dan pantul.

6. Lantai penonton harus dimiringkan dengan curam pada bagian belakang untuk menyediakan garis pandang yang jelas untuk seluruh penonton, dengan demikian menyediakan pengadaan bunyi langsung yang banyak.

7. Layar proyeksi dan pengeras suara di belakangnya harus cukup tinggi bagi seluruh penonton agar terliput dengan baik oleh berkas bunyi.

8. Permukaan batas vertikal, kecuali yang dekat layar, harus diberi lapisan penyerap bunyi yang banyak agar tercapai RT yang singkat dan untuk menghindari cacat akustik yang biasanya ada dalam ruang yang mati secara akustik seperti teater bioskop. Dalam auditorium bioskop dengan layar lebar, di mana pengeras suara dipasang di belakang layar dari satu ujung ke lainnya, lapisan akustik sepanjang dinding sisi akan mencegah pemantulan-pemantulan dengan waktu tunda lama (dari dinding samping); pemantulan-pemantulan ini terutama harus dihindari karena mereka membuat bunyi seolah-olah datang dari tempat yang salah, jadi merusak ilusi.

9. Kesejajaran antara permukaan-permukaan pemantul dekat layar harus dihindari. Dinding di belakang layar proyeksi harus dibuat absortif bila pemantulan dengan waktu tunda lama diharapkan dari permukaan ini. Dalam hal ini lapisan akustik di belakang layar harus dibuat hitam untuk menghindari pemantulan cahaya dari tembusan melalui layar berlubang.

10. Panjang ruang yang berlebihan, di atas sekitar 150 ft (46 m), harus dihindari, sebagian untuk meniadakan kebutuhan akan daya akustik yang berlebihan dari pengeras suara dan sebagian untuk menghindari kekurangan/hilangnya keselarasan antara penglihatan dan pendengaran pada tempat-tempat duduk yang jauh.

11. Balkon tak boleh terlalu dalam.

12. Jarak yang betul antara layar dan baris tempat duduk pertama harus ditentukan dari *perbandingan aspek* (aspect ratio) (perbandingan tinggi terhadap lebar) dan ukuran layar proyeksi.

13. Tempat duduk dengan banyak lapisan empuk harus digunakan untuk mengimbangi pengaruh akustik ruang yang merusak karena jumlah penonton yang sangat banyak berfluktuasi.

14. Lantai antara layar dan tempat duduk baris pertama harus diberi karpet agar secara psikologis mencegah pemantulan yang mengecewakan di depan auditorium, yang datang dari arah-arah yang lain dengan pengeras suara.

Reproduksi bunyi stereofonik dalam teater bioskop, yang dapat diharapkan dalam waktu yang akan datang, akan membutuhkan pendekatan yang cermat sekali pada rancangan akustik, yang mempengaruhi bentuk ruang, RT, distribusi lapisan akustik, dan pengaturan sistem bunyi (sound system).

Tingkat bising latar belakang yang agak lebih tinggi dapat ditolerir dalam teater bioskop dibanding tempat lain karena tingkat bunyi yang lebih tinggi yang diproduksi pengeras suara.

Bising yang berasal dari kamar proyeksi sering merupakan gangguan, terutama bagi mereka yang duduk dekat kamar tersebut. Penembusan bising ini ke dalam daerah penonton harus dicegah dengan melapisi permukaan interior kamar proyeksi tersebut dengan bahan penyerap bunyi efisien, dengan menggunakan kaca ganda dalam lubang proyeksi dan lubang pengamat (gelas optik harus digunakan dalam kamar proyeksi, dan gelas lempengan dalam kamar pengamat; kaca jendela harus berbeda tebalnya dan ditutup rapat-rapat pada kerangkanya); dan dengan menggunakan dinding penyekat dengan insulasi bunyi yang cukup antara auditorium dan ruang proyeksi.

9.4 Teater Terbuka dan Panggung Konser

Arsitektur masa kini belum dapat membanggakan diri dengan suatu kemajuan yang nyata dalam rancangan teater terbuka sejak auditorium jenis ini pertamakali dibangun oleh orang Yunani dan Romawi. Selimut (mask) yang mereka pakai sedang diganti oleh sistem bunyi elektronik.

Teater terbuka digunakan untuk acara yang diucapkan (pagelaran panggung hidup), dan untuk pertunjukan musik (konser dan musik). Bila sistem penguat bunyi tidak digunakan, maka pementasan musik, terimakasih pada daya akustik inheren yang lebih tinggi pada instrumen-instrumen, dapat mencapai penonton yang jauh lebih banyak daripada acara-acara yang diucapkan.

Bunyi langsung karena penguatan wajar dari permukaan reflektif yang dekat sangat terbatas, sedang reduksi sekitar 6 dB dalam intensitas bunyi dapat diharapkan tiap saat jarak dari sumber digandakan (Bab 3). Untuk mengimbangi pengurangan yang sangat banyak ini di udara terbuka, perhatian harus diberikan pada rekomendasi-rekomendasi berikut ini.

1. Lokasi/tempat harus dipilih dengan hati-hati ditinjau dari pengaruh secara topografi dan kondisi atmosfir (angin, temperatur dan lain-lain) dan pengaruh sumber-sumber bising luar terhadap perambatan dan penerimaan bunyi.
2. Bentuk, ukuran, dan kapasitas dasar dari daerah penonton harus ditetapkan untuk menjamin inteligibilitas pembicaraan yang memuaskan bagi seluruh daerah penonton. Jarak tempat duduk dari sumber bunyi harus dijaga pada suatu minimum yang baik, dengan efisiensi yang ketat pada pengaturan lorong-lorong jalan dan gang.
3. Suatu usaha harus dibuat untuk menyediakan jumlah permukaan pemantul maksimum dekat dengan sumber bunyi. Penyungkup (band shell) reflektif dan difusif, untuk mengarahkan gelombang bunyi pantul ke penonton dan balik ke pementas, akan sangat menguntungkan. Daerah yang rata, selokan buatan, atau permukaan reflektif lain antara panggung dan penonton akan memperbaiki kondisi mendengar.
4. Panggung harus dinaikkan dengan baik dan daerah penonton dibuat bertangga dengan curam, dengan kemiringan yang bertambah di bagian belakang, untuk menyediakan jumlah bunyi langsung maksimum untuk seluruh penonton.
5. Pemantulan ulang yang mengumpul ke panggung dari pagar konsentris, terasa terutama dengan daerah tempat duduk yang tak ditempati sebagian atau seluruhnya, harus dihindari.
6. Permukaan-permukaan pemantul yang dekat dengan gedung-gedung yang ada harus diperiksa secara teliti sehubungan dengan gema atau pemantulan yang merusak.

Rekomendasi dalam Bab 6 sampai 8 banyak yang juga berlaku untuk teater terbuka.

Jika kapasitas penonton melebihi sekitar 500, sistem penguat bunyi kualitas tinggi harus dipasang. Pengaturan dan volume harus sedemikian hingga penonton tidak menyadari akan kehadiran sistem penguat itu.

KEPUSTAKAAN

Buku

Beranek, L.L.: *Music Acoustics and Architecture*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962, 586 halaman.

"Pipe Organs", in J.H. Callender (ed.), *Time-saver Standards*, 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1966, halaman 934–936.

Schlanger, B.: "Motion-picture Theaters", in J.H. Callender (ed.), *Time-saver Standards*, 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1966, halaman 1101–1106.

Theater Planning, bagian 2, dicetak ulang dari *The Architects' Journal*, termasuk lembaran informasi 1467 sampai 1473 pada proyeksi film, didistribusi oleh the Association of British Theater Technicians, London, 1967.

Sharp, D.: *The Picture Palace*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1969, 224 halaman.

Majalah

Bagenal, H.: "Cathedral Acoustics", *J. RIBA*, April 1954, halaman 223–226.

Berry, R., and B.Y. Kinzey: "Planning for Sound in Church Worship", *Architectural Forum*, Desember 1954, halaman 164–166.

Rienstra, A.R.: "Church Design for Music", *Architectural Record*, Desember 1955, halaman 193–194.

Lane, R.N.: "Room Shapes and Materials Determine Church Acoustics", *Architectural Record*, Desember 1957, halaman 190–192.

Northwood, T.D.: "Acoustics and Church Architecture", *J. RAIC*, Juli 1962, halaman 51–55.

Schlanger, B.: "Multi-purpose and Multi-form Places of Assembly", *J. AIA*, Desember 1964, halaman 66–70.

"Better Architcture for the Performing Arts", *Architectural Record*, Desember 1964, halaman 115–142.

"The Jesse H. Jones Hall for the Performing Arts", *Architectural Record*, Pebruari 1967, halaman 115–121.

"The Loretto Hilton Center for the Performing Arts", *Architectural Record*, Pebruari 1967, halaman 122–125.

Risser, A.C.: "Alfresco Spectaculars", *J. AIA*, Agustus 1969, halaman 67–73.

Ramakrishna, B.S., and T.I. Smits: "Acoustics of Northrop Memorial Auditorium", *J. Acousts. Soc. Am.*, April 1970, halaman 951–960.

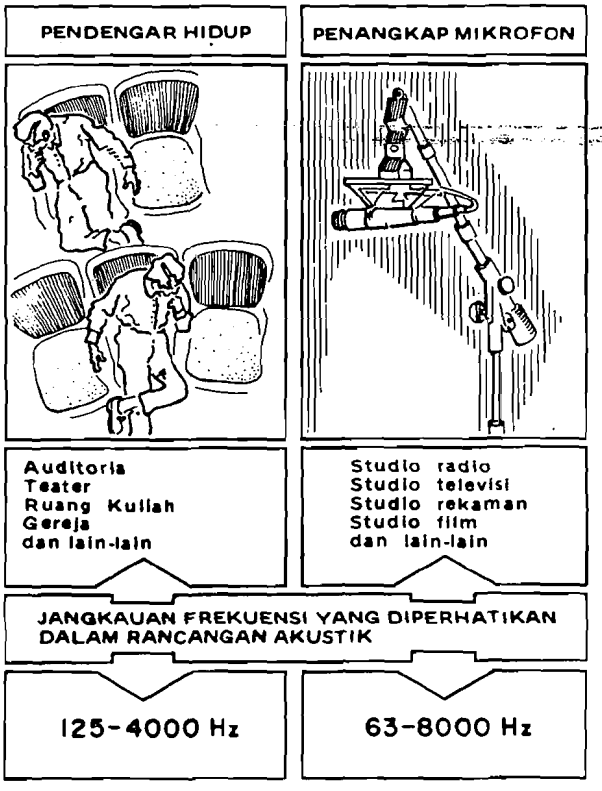
"Concert Shell for a Roman Ruin", *Architectural Record*, Desember 1970, halaman 67–74.

BAB
SEPULUH

Rancangan Akustik Studio

Rancangan ruangan yang digunakan terutama untuk penangkapan bunyi oleh mikrofon merupakan masalah khusus yang diatur oleh persyaratan yang sangat teknis. Bab ini tidak bermaksud untuk menjelaskan prosedur yang terperinci yang berlaku di kompleks studio rekaman suara jaman ini selama siaran radio, siaran televisi atau rekaman, karena tidak mungkin arsitek yang bertanggungjawab dalam proyek semacam itu, juga bertanggungjawab terhadap rancangan akustiknya. Walaupun demikian, rangkuman pandangan yang singkat tentang dasar-dasar akustik ruang yang bersangkutan dengan masalah di atas diberikan di bawah ini.

Sebagai tambahan terhadap dasar-dasar akustik umum dan rekomendasi yang dibahas dalam bab-bab sebelum ini, yang juga berlaku untuk rancangan studio, persyaratan akustik ruang harus disesuaikan dengan ketepatan yang lebih besar, dan isolasi yang luar biasa harus disediakan melawan bising dan getaran yang tak diinginkan. Perhitungan-perhitungan akustik yang dibutuhkan digunakan pada jangkauan frekuensi yang lebih luas daripada kasus-kasus biasa, yaitu dari 63 Hz sampai biasanya 8000 Hz (Gambar 10.1).



Gambar 10.1 Dalam studio radio, televisi, rekaman dan film, telinga toleran pendengar hidup digantikan oleh instrumen elektronik yang paling sensitif, yaitu mikrofon.

Pendekatan yang sangat teliti pada akustik-studio diperlukan karena manusia sebagai pendengar (binaural), dalam studio digantikan oleh mikrofon, suatu instrumen elektronik yang paling sensitif yang menangkap bunyi sangat mirip dengan orang yang mendengar dengan pendengaran monaural. Mikrofon akan menunjukkan dengan jelas (1) bila karakteristik dengung tidak optimum pada jangkauan frekuensi yang lebar, (2) jika difusi tidak cukup tinggi, (3) bila tercatat sebarang cacat akustik seperti gema atau pemusatan bunyi, dan (4) bila bising atau getaran terlembut ada dalam studio.

10.1 Persyaratan Akustik

Karena studio membentuk mata rantai akustik yang penting antara sumber bunyi dan mikrofon, perhatian khusus harus diberikan pada persyaratan-persyaratan berikut dalam rancangannya.

1. Ukuran dan bentuk studio yang optimum harus diadakan.
2. Derajat difusi yang tinggi harus dijamin.
3. Karakteristik dengung yang ideal harus diadakan.
4. Cacat akustik harus dicegah sama sekali.
5. Bising dan getaran harus dihilangkan sama sekali.

Daftar persyaratan di atas dapat diringkas menjadi peringatan berikut: dalam rancangan studio tak ada satu kesempatan pun boleh dibiarkan.

Ukuran suatu studio ditentukan oleh ruang secara fisik yang dibutuhkan untuk pemakai, peralatan, dan perabotan, oleh fungsi penggunaan ruang itu, dan oleh kebutuhan akustik. Dimensi terkecil tidak boleh kurang dari sekitar 8 ft (2,4 m).

Dalam pengadaan luas lantai yang diperlukan untuk studio musik, walaupun pemain instrumen tunggal hanya menduduki luas lantai sekitar 6 sampai 10 ft persegi (0,55 sampai 0,95 meter persegi), ternyata bahwa daerah lantai total rata-rata sekitar 15 sampai 20 ft persegi (1,4 sampai 1,85 meter persegi) dibutuhkan untuk tiap pemain musik dalam studio musik yang kecil dan luas lantai sekitar 20 sampai 40 ft persegi (1,85 sampai 3,7 meter persegi) dalam studio yang besar. Ruang ekstra dipakai untuk sirkulasi, tempat musik, dan penempatan mikrofon. Luas lantai rata-rata 4 sampai 6 ft persegi (0,37 sampai 0,55 meter persegi) dibutuhkan untuk penyanyi, tergantung pada apakah mereka berdiri atau duduk. Jika partisipasi penonton dibutuhkan, maka luas lantai terpisah harus diadakan selain tempat duduk penonton.

Tidak ada perbandingan ruangan yang secara umum atau yang secara suara bulat direkomendasi sebagai optimum. Untuk studio persegi panjang pada umumnya dianjurkan rasio perbandingan ruang yang ditunjukkan dalam Tabel 10.1. Beberapa pengarang merekomendasi perbandingan yang berbeda. Harus ditekankan bahwa ukuran ruang dalam akustik studio ber-

TABEL 10.1 Perbandingan Studio Segiempat yang Disarankan

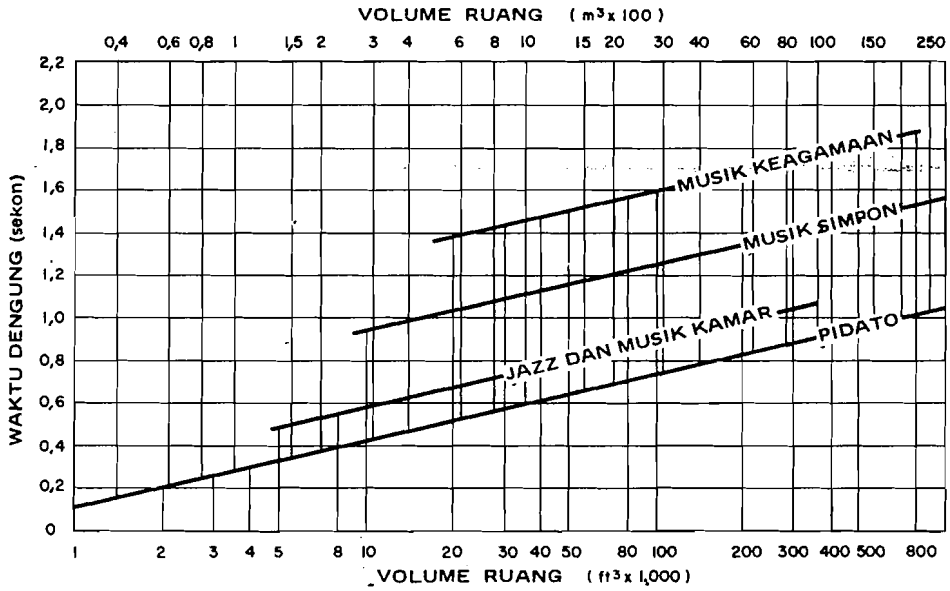
Jenis studio	Tinggi	Lebar	Panjang
Kecil	1	1,25	1,60
Sedang	1	1,50	2,50
Dengan langit-langit yang relatif panjang	1	2,50	3,20
Dengan panjang yang luar biasa relatif terhadap lebar	1	1,25	3,20

kurang pentingnya bila (1) studio mempunyai lantai yang tidak persegi panjang, (2) dengung ideal telah dicapai, (3) lapisan akustik, terutama karakteristik lapisan dengan penyerapan frekuensi rendah yang efisien, banyak digunakan dan didistribusi dengan merata, (4) difusi dengan derajat yang tinggi disediakan, dan (5) volume studio lebih dari 25.000 feet kubik (710 meter kubik).

Pengadaan difusi derajat tinggi (Bab 4 dan 6) sangat penting dalam akustik-studio. Dengan difusi ideal jumlah posisi di mana variasi tekanan bunyi yang nyata terjadi banyak direduksi, sehingga mikrofon dapat ditempatkan dengan aman pada hampir tiap posisi yang sesuai.

RT optimum untuk studio umumnya lebih pendek dari RT untuk auditorium di mana bunyi diterima oleh pendengar binaural. RT optimum untuk studio (Gambar 10.2) sangat penting untuk kualitas akhir bunyi, tetapi RT yang nyata dalam suatu studio, seperti yang akhirnya diterima oleh pendengar, akan tergantung juga pada teknik penangkapan (pick-up) mikrofon (posisi mikrofon, jarak antara sumber bunyi dan mikrofon, jumlah mikrofon yang digunakan secara serentak, dan seterusnya) dan pada kualitas mikrofon, terutama karakteristik keterarahannya. Karakteristik akustik ruang di mana bunyi yang disiarkan atau direkam diterima atau direproduksi akan menambah RT yang nyata.

Lapisan akustik, seperti ditunjuk oleh perhitungan dengung, perlu didistribusikan secara merata dan sebanding pada ketiga pasang dinding studio yang berhadapan.



Gambar 10.2 RT optimum untuk studio pada jangkauan frekuensi tengah (500 sampai 1000 Hz).

Bila memungkinkan, kebanyakan perkumpulan penyiaran radio lebih menyukai mempunyai lapisan akustik yang terpasang sehingga pemindahan sementara dari lapisan permukaan yang telanjang memungkinkan untuk pengaturan lebih lanjut. Pemilihan bahan akustik yang cocok telah dibahas di Bab 5.

Studio siaran radio dan rekaman sering digunakan untuk acara yang sangat berbeda dalam jenis, skala atau kerumitannya. Kondisi dengung variabel yang perlu dapat dicapai lewat cara-cara berikut:

1. Penyerap variabel pada permukaan dinding atau langit-langit, seperti panel dengan engsel atau yang dapat digeser, silinder yang dapat berputar, tirai yang dapat diatur, dan seterusnya. (Paragraf 5.5).
2. Layar akustik yang dapat dipindah-pindah/portable (*flats*).
3. Ruang dengung.
4. Mekanisme khusus untuk mengendalikan RT secara elektronik, dan dioperasikan dari ruang kontrol.

Permukaan-permukaan batas harus diteliti dengan baik, terhadap gema, gaung dan pemusatan bunyi. Permukaan-permukaan sejajar harus dihindari (terutama dalam studio yang medium dan besar) atau diatur dengan bahan-bahan akustik yang sangat menyerap meliputi jangkauan frekuensi antara 63 dan 8000 Hz.

Syarat penting dari pengendalian bising dan getaran dalam studio dibahas dalam Bab 17.

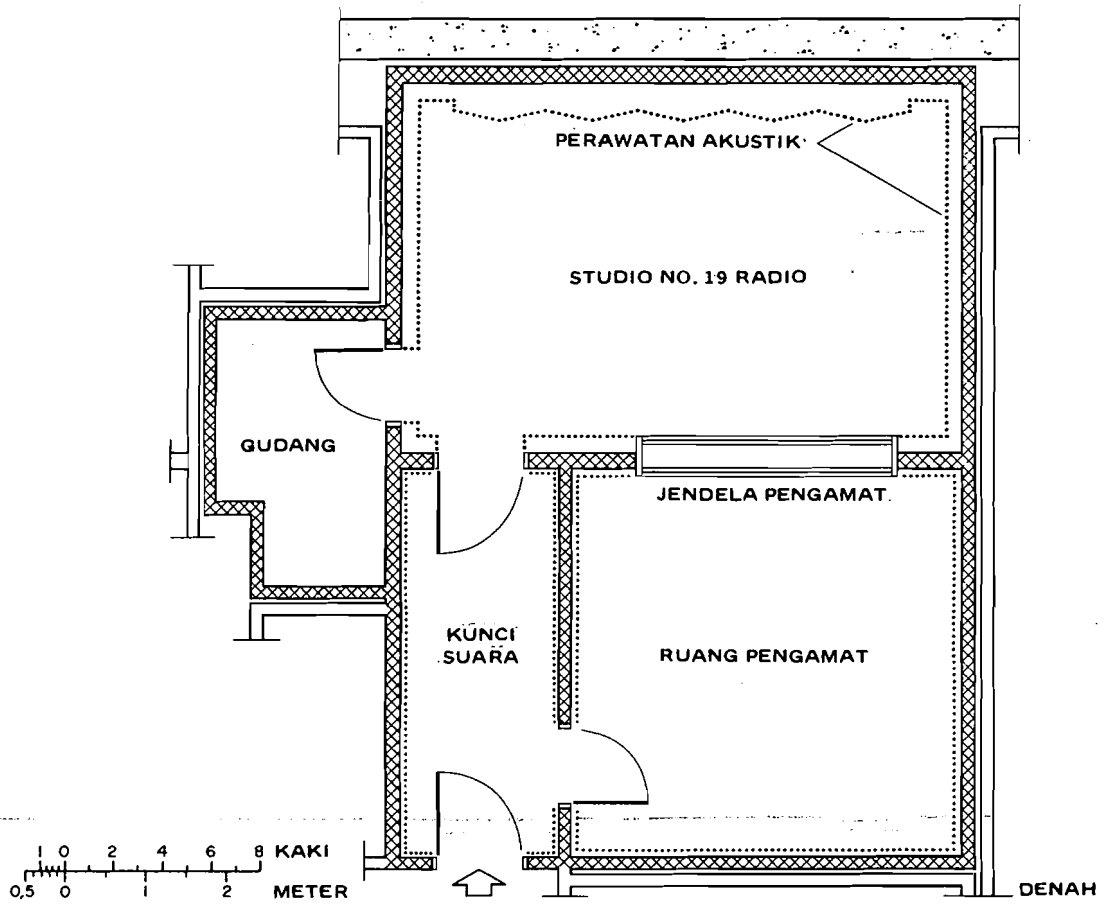
10.2 Studio Radio

Studio yang digunakan untuk siaran radio dapat dibagi dalam beberapa jenis.

1. *Ruang pengumuman.* Ini adalah studio terkecil, biasanya berhubungan dengan studio yang lebih besar. Ini digunakan untuk siaran berita, cerita, komentar, dan seterusnya, dan mempunyai luas lantai sampai sekitar 150 ft persegi (14 meter persegi). Secara visual ia dihubungkan dengan studio lain lewat jendela pengamat besar yang mengisolasi bunyi.

2. *Studio percakapan* (Gambar 10.3). Digunakan untuk siaran berita, diskusi panel, pidato, ceramah dan kadang-kadang pertunjukan. Luas lantainya sampai kira-kira 500 ft persegi (47 meter persegi).

3. *Studio drama.* Luas lantai biasanya dari sekitar 600 sampai 1.500 ft persegi (56 sampai 140 meter persegi).

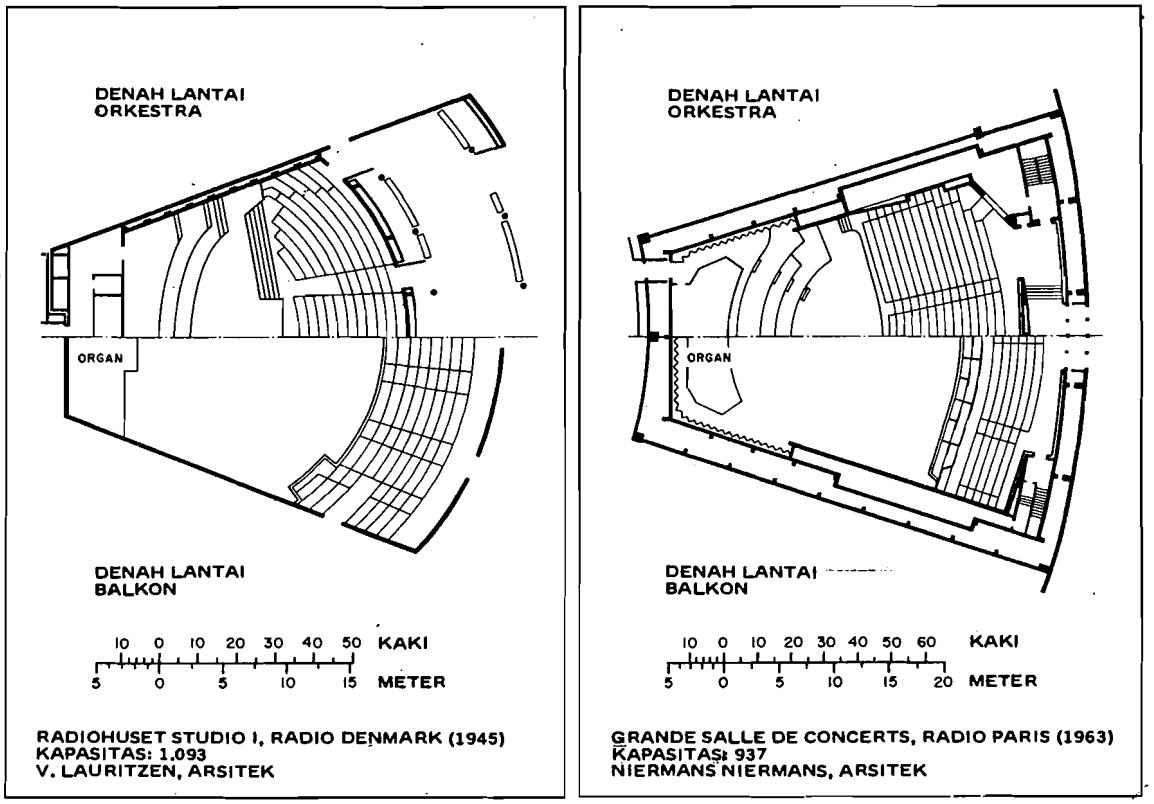


Gambar 10.3 Dengan studio radio Place de Radio Canada, Montreal (1972). (Architectural Department of the Canadian Broadcasting Corporation.)

4. *Studio serbaguna.* Luas lantai bervariasi antara sekitar 1.500 dan 4.000 ft persegi (140 dan 370 meter persegi). Ia digunakan baik untuk presentasi yang diucapkan maupun musik.

5. *Studio penonton.* Digunakan untuk siaran radio orkestra dan acara paduan suara. Studio yang besar ini, sebenarnya, adalah ruang konser biasa; karena itu persyaratan akustik dan dasar perancangan yang dibahas dalam Bab 8 harus ditaati dengan tepat. Di samping ruang-ruang teknik lain, ruang kontrol dan ruang pengumuman biasanya diletakkan berdampingan dengan studio penonton, berhubungan satu dengan lainnya lewat jendela insulasi bunyi yang besar. Sistem penguat suara biasanya dibutuhkan untuk menyediakan bunyi yang cukup untuk penonton.

Gambar 10.4 adalah contoh studio radio penonton.



Gambar 10.4 Contoh-contoh studio pendengar radio.

10.3 Studio Televisi

Kondisi akustik dalam studio televisi tidak serawan kondisi akustik dalam studio radio karena letak, dekorasi dan barang-barang yang dipasang untuk suatu acara bagaimana pun mengubah lingkungan akustik asli dari studio tersebut.

Kondisi akustik pada dasarnya adalah mati dalam studio televisi. Dengung, bila perlu, dapat ditambah dengan menggunakan pengaturan tempat dan barang-barang yang cocok, layar akustik yang dapat dipindahkan (portable), dan dengung buatan. Bila lebih banyak kondisi dengung dibutuhkan bagi keuntungan pementas, maka bagian acara yang membutuhkan RT yang lebih panjang dapat diproduksi dalam studio radio yang lebih dengung yang disebut *studio audio satelit.*

Studio televisi dibangun dalam ukuran-ukuran berbeda, sesuai dengan luas lantai dan tinggi yang dibutuhkan. Ada 4 jenis studio televisi yang utama:

1. *Studio penonton,* dengan tempat duduk penonton yang permanen. Luasnya sekitar 15.000 ft persegi (1.400 meter persegi) dan volumenya sekitar 500.000 ft kubik (14.200 meter kubik).
2. *Studio serbaguna,* untuk semua jenis acara.
3. *Studio pengumuman* dan *wawancara* yang kecil.
4. *Ruang pengisian suara* (dubbing suites).

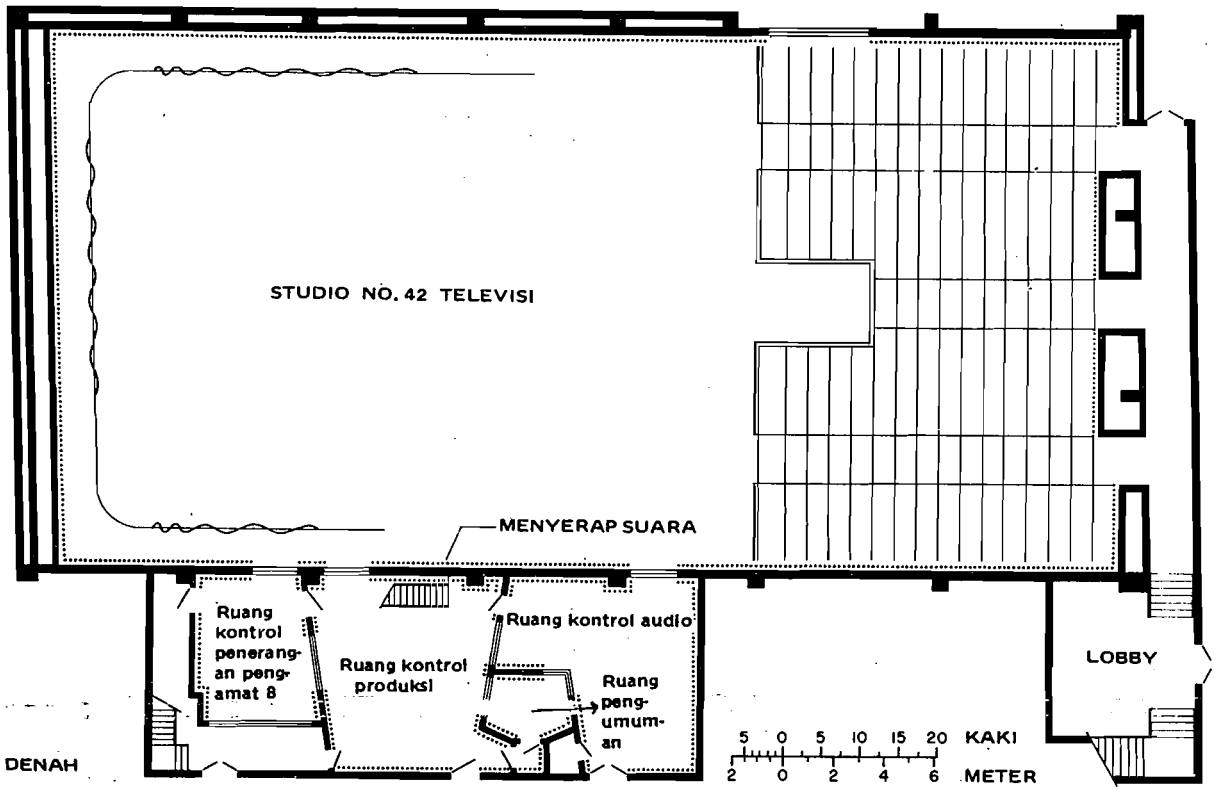
Ketinggian yang cukup biasanya dibutuhkan di atas daerah kerja studio-studio yang lebih besar untuk menyediakan tempat bagi lubang penerangan (lampu) dengan sistem panggungnya, dan untuk menggantungkan dekorasinya.

Studio televisi biasanya mempunyai sebagian besar ruang tambahan berikut ini: ruang kontrol produksi (video), dengan RT yang dibutuhkan sekitar 0.25 sekon, ruang kontrol bunyi (audio), ruang kontrol lampu, ruang efek bunyi, ruang pengumuman, dengan RT yang dibutuhkan sekitar 0.25 sampai 0.30 sekon; dan sejumlah ruang penyimpanan. Ruang kontrol, biasa-

nya dikelompokkan dalam satu deretan, sering diletakkan satu tingkat lebih tinggi dari lantai studio (Gambar 10.5). Kadang-kadang kontrol bunyi dapat terjadi dalam konsol kontrol bunyi yang dapat dibawa-bawa pada suatu pencampur (mixer) yang membawa earfon.

Dalam studio penonton televisi, sistem penguat bunyi penting bila penonton harus mampu menangkap cukup bunyi.

Lapisan akustik yang sederhana dan tidak mahal biasanya dipakai dalam studio televisi, seperti selimut mineral-wool (ditutup dengan bilah-bilah logam, layar kawat, kain kaca, kawat kasa ayam, atau papan yang berlubang-lubang), papan wood-wool dan lain-lain. Penyerapan frekuensi rendah yang dibutuhkan dapat diperoleh dengan menggunakan panel-panel plywood, hardboard, atau plasterboard, yang secara serentak membentuk suatu lapisan yang cocok untuk bagian bawah dinding sampai ketinggian 6 sampai 8 ft (1,8 sampai 2,4 m). Kebanyakan lapisan dinding pada akhirnya ditutup oleh suatu tirai cyclorama yang diberi jarak 3 sampai 9 ft (0,9 sampai 2,8 m) dari dinding, dengan demikian menyediakan jarak yang cukup untuk sirkulasi tanpa halangan sekeliling studio.



Gambar 10.5 Studio penonton televisi Place de Radio Canada, Montreal (1972). (Architectural Department of the Canadian Broadcasting Corporation.)

10.4 Studio Rekaman

Studio rekaman (atau ruang rekaman), yang serupa dengan studio radio, dengan lingkungan akustik mati, biasanya dihubungkan dengan ruang kontrol atau ruang pembantu lain. Luas lantai dan bentuknya tergantung pada perabot dan alat-alat teknik yang melengkapinya. Karena sebagai aturan, masyarakat tidak diperkenankan masuk ke dalam studio rekaman, prioritas dapat diberikan pada persyaratan akustik daripada kebutuhan akan keindahan. Perubahan sementara dapat dibuat dalam pengaturan akustik tanpa memperhatikan penampilan, dan percobaan yang banyak dapat dilakukan.

10.5 Ruang Kontrol

Setiap studio radio, televisi atau rekaman dihubungkan dengan satu atau lebih ruang kontrol, di mana "bangku" kontrol (control desk) yaitu pusat "saraf" acara siaran atau rekaman di-

tempatkan. Semua sumber bunyi dikontrol dan dicampur di sini, sebelum sinyal akhirnya meninggalkan transmiter. Kontrol visual antara studio dan ruang kontrol diadakan lewat jendela kontrol yang lebar (Gambar 14.33) dengan pandangan tanpa halangan pada lantai studio. Selama luas lantai studio tidak melebihi sekitar 800 sampai 1.200 ft persegi (75 sampai 110 meter persegi), ruang kontrol maupun studio dapat berada pada lantai yang sama. Ruang kontrol yang dihubungkan dengan studio yang ukurannya lebih besar harus dinaikkan.

Ukuran dan bentuk ruang kontrol tergantung pada berapa orang dan berapa banyak peralatan yang harus disiapkan, misalnya konsol audio, fasilitas monitorong dan percakapan balik (talk-back), pereproduksi tape dan pelat (tape and disk reproducers), tape recorder, lonceng, unit kontrol dengung, monitor video, panel kunci interkom, dan tempat duduk untuk pengontrol.

Dalam ruang kontrol, RT sekitar 0,4 sekon dianjurkan pada jangkauan frekuensi tengah.

10.6 Studio Bioskop

Lokasi studio bioskop biasanya dipilih sebagai suatu kompromi antara lingkungan yang tenang dan kemudahan untuk mendatangi/mencapainya.

Studio bioskop biasanya dibangun sebagai ruang yang besar dengan dinding yang sangat menyerap sehingga pengaturannya (the set) dapat berperan dalam kebutuhan karakteristik akustiknya sendiri. Faktor ekonomis dalam pembangunan dan efisiensi operasi menghendaki agar beberapa studio bioskop ukuran besar dikelompokkan bersama. Ini memungkinkan pembangunan kelompok (set) dan persiapan dilakukan dalam satu atau lebih studio sementara produksi normal terus berlangsung dalam ruang-ruang yang berdampingan. Pengadaan RT pendek serta isolasi bising dan getaran dengan derajat tinggi yang dibutuhkan dalam studio-studio ini merupakan sasaran akustik yang utama.

KEPUSTAKAAN

Buku

Duschinsky, W.J.: *Television Stadions*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1954, 136 halaman.

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, bab 5.

Nisbett, A.: *The Technique of the Sound Studio*, Hastings House, Publishers, Inc., New York, 1962, 288 halaman.

Majalah

"Radiohus, Oslo, Norway", *Progressive Architecture*, September 1947, halaman 67–70.

"Radio and Television Buildings", *Architectural Record*, Juni 1949, halaman 120–141.

Beranek, L.L.: "Broadcast Studio Redesign", *J. SMPTE*, Oktober 1955, halaman 550–559.

Gilford, C.L.S.: "The Acoustical Design of Talk Studios and Listening Rooms", *Proc. IEE*, Mei 1959, halaman 245–258.

Rettinger, M.: "Acoustic Considerations in the Design of Recording Studios", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 9, no. 3, halaman 178–183, 1961.

Schaudinischky, L., and A. Schwartz: "The Acoustical Design of Multi-purpose Recording Studios in Existing Buildings", *Applied Acoustics*, Oktober 1970, halaman 283–298.

BAB
SEBELAS

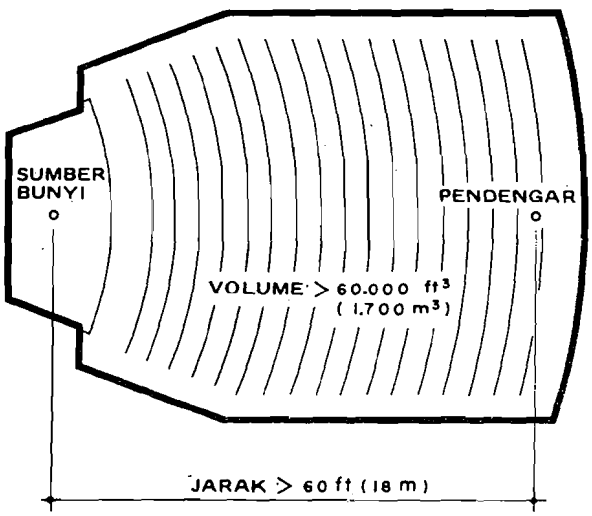
Sistem Penguat Bunyi

Dalam bab-bab yang lalu telah dijelaskan bahwa tekanan bunyi dapat ditambah di bagian belakang auditorium jika bentuk dan volume ruang baik secara akustik, permukaan-permukaan pemantul yang cocok disediakan, RT adalah optimum, cacat-cacat akustik berhasil dihindari, dan bising yang mengganggu ditiadakan dari auditorium.

Namun dalam ruang besar, tidak peduli berapa pun perhatian telah diberikan pada segi ini, tingkat bunyi pembicaraan seringkali terlampau kecil untuk kondisi mendengar yang memuaskan. Karena itu, dalam auditorium-auditorium yang besar dan di luar gedung, suatu *sistem penguat bunyi* hampir selalu diperlukan untuk pengadaan kekerasan yang cukup dan distribusi bunyi yang bagus.

Adalah sulit untuk menyatakan ukuran dan volume auditorium yang kecil atau medium yang tepat, di atas mana suatu sistem penguat bunyi diperlukan. Sebagai contoh, dalam gelanggang jaman dulu Verona, Italia, yang masih digunakan sampai sekarang, 20.000 penonton menikmati opera tanpa bantuan sistem bunyi apa pun.

Pementas profesional dapat membuat dirinya dimengerti di depan 1.500 sampai 2.000 pendengar tanpa sistem penguat pembicaraan asal penonton tenang dan memperhatikan dan bising dalam ruang dikendalikan dengan baik (Bab 15). Namun, hal ini berat/sukar baik bagi pementas maupun penonton. Pementas harus mengeluarkan usaha khusus untuk berkomunikasi dengan penonton yang demikian banyaknya, dan penonton yang harus memberikan usaha yang sama untuk mendengar dengan penuh perhatian hanya dapat berlangsung untuk jangka waktu yang terbatas.



Gambar 11.1 Dalam auditorium, sistem penguat bunyi biasanya dibutuhkan bila volume ruang melampaui 60.000 feet kubik (1.700 m kubik) dan bila suara harus merambat lebih dari 60 ft (18 m) dari sumber ke pendengar.

Dalam auditorium yang dirancang secara akustik dengan baik, suatu sistem bunyi biasanya diperlukan bila volume ruang melebihi 60.000 ft kubik (1.700 meter kubik) dan jika suara harus merambat lebih dari 60 ft (18 m) ke pendengar (Gambar 11.1), namun dalam hal-hal tertentu, suatu sistem bunyi sudah dibutuhkan dalam ruang yang mempunyai volume yang lebih dari sekitar 15.000 ft kubik (425 meter kubik) bila ruang diisi penuh (120 sampai 150 orang), yaitu bila ruang diatur dengan lapisan-lapisan penyerap bunyi yang banyak, dan bila jarak antara sumber bunyi dan pendengar melebihi 40 ft (12 meter). Sistem bunyi dapat dibutuhkan dalam ruang-ruang yang kecil bila mereka terlampau bising atau bila ruang sangat dengung. Apakah sistem penguat bunyi dibutuhkan atau tidak tergantung pada kondisi akustik dalam ruang, intensitas suara pementas, apakah ia sedang berbicara atau menyanyi, jarak antara sumber bunyi dan pendengar, dan tingkat bising latar belakang yang ada dalam ruang.

11.1 Penggunaan Penguat Bunyi yang Utama

Sistem penguat bunyi digunakan untuk tujuan-tujuan sebagai berikut:

1. Untuk menguatkan tingkat bunyi dalam auditorium atau tempat-tempat di luar bangunan jika sumber bunyi terlampau lemah untuk didengar.
2. Untuk menyediakan bunyi yang diperkuat bila penonton melimpah.
3. Untuk menambah tingkat bunyi di atas panggung auditorium bagi keuntungan/kebaikan pementas atau pendengar yang duduk di panggung.
4. Untuk menyediakan bunyi dalam teater bioskop.
5. Untuk membuat dengung yang minimum dalam ruang.
6. Untuk menyediakan dengung buatan dalam ruang yang terlampau mati untuk mendengar dengan memuaskan, misalnya *assisted resonance* (resonansi buatan) di Royal Festival Hall, London.
7. Untuk menyediakan fasilitas-fasilitas elektroakustik yang banyak dalam teater, rumah opera, dan semacamnya bagi kenyamanan penonton, pementas dan staf, dan juga untuk menghasilkan efek-efek bunyi.
8. Untuk mengoperasi organ elektronik, genta, lonceng menara dan lain-lain.
9. Untuk mereduksi pengaruh menutupi dari tingkat bising latar belakang yang berlebihan dalam auditorium atau di udara terbuka.
10. Untuk mendistribusi program radio atau rekaman dalam pabrik, sekolah, rumah sakit, hotel, rumah makan, gedung rekreasi, dan lain-lain, bagi tujuan hiburan, instruksi audio, atau tujuan-tujuan penyembuhan, dan untuk meningkatkan moral, jadi menambah produktivitas dan kualitas yang dihasilkan.
11. Untuk menyediakan fasilitas pemanggilan dan pengumuman dalam kantor, toko, gedung industri, sekolah, hotel, rumah sakit, terminal kendaraan, atau dalam gedung-gedung lain bagi tujuan penerusan pengumuman lisan atau hasil rekaman atau untuk mencari seseorang.
12. Untuk menyediakan fasilitas komunikasi antara orang-orang yang berada di tempat-tempat terpisah dalam gedung yang sama atau berbeda.
13. Untuk memberi tanda, yaitu, menyiarkan instruksi bagi tindakan-tindakan keadaan darurat atau untuk memberitahukan awal dan akhir jam kerja.
14. Untuk menyediakan alat bantu dengar perorangan di auditorium.
15. Untuk menyediakan terjemahan serentak dalam konperensi jenis-jenis tertentu.

Beberapa fungsi ini, yaitu 10 sampai 15, juga termasuk klasifikasi *sistem public-address* dan bukan sistem penguat bunyi. Bila sistem public address menghasilkan bunyi buatan (tidak perlu diperkuat) di tempat-tempat yang jauh yang tak dapat dilengkapi dengan bunyi langsung atau bunyi yang diperkuat, maka tujuan sistem penguat bunyi adalah untuk menguatkan bunyi sumber yang dapat dilihat dalam ruang-ruang yang besar.

Sisa bab ini ditujukan terutama untuk sistem penguat bunyi yang digunakan untuk menguatkan tingkat bunyi dalam auditorium. Umumnya sistem bunyi diharapkan memenuhi kriteria-kriteria sebagai berikut:

1. Ia harus mentransmisi jangkauan frekuensi yang lebar (dari sekitar 30 Hz sampai 12.000 Hz) dengan baik untuk mempertahankan kesetimbangan yang benar antara nada dasar dan harmoniknya, untuk mencapai warna nada yang sempurna untuk tiap instrumen musik, dan untuk mengadakan bunyi yang bersih, tanpa distorsi, yaitu, inteligibilitasnya tinggi untuk kata-kata yang diucapkan.

2. Ia harus menyediakan jangkauan dinamik yang lebar; yaitu bunyi pianissimo harus dapat didengar dengan jelas, dan fortissimo harus dapat direproduksi tanpa distorsi.

3. Ia harus bebas dari gema atau bunyi balik yang mengganggu.

4. Ia harus menciptakan dengung ruang yang cukup rendah.

5. Ia harus tetap tak terdeteksi. Anggapan bahwa bunyi yang diperkuat datang dari sumber bunyi aslinya harus dijaga. Penonton tidak boleh sadar akan adanya sistem penguat bunyi, dan kehebatan akustik dari tiap pertunjukkan harus diberikan pada pementas dan akustik auditorium.

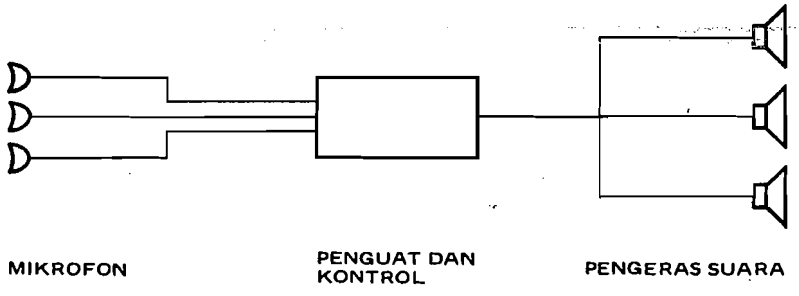
Dalam auditorium yang relatif kecil, sistem penguat bunyi akan tinggal tak terdeteksi bila pengeras suara diletakkan tepat di samping orang yang sedang berbicara atau tepat di atasnya. Penundaan waktu antara datangnya bunyi dengung dan bunyi yang diperkuat tidak boleh melebihi 1/50 sekon; ini berarti suatu pemisahan maksimum sebesar 23 sampai 25 ft (7 sampai 8 meter) antara pembicara dan pengeras suara.

Suatu sistem penguat bunyi harus digunakan dengan sikap yang tak berlebihan dan terkendali. Ia harus melayani kebutuhan pembicara, penyanyi, aktor dan pemusik dan harus berpangkat lebih rendah (subordinate) dari mereka. Dalam denah dan penggunaan sistem bunyi, skala manusia harus diamati.

11.2 Komponen-komponen Sistem

Pembahasan terperinci dari komponen-komponen sistem ada di luar lingkup buku ini, tetapi dapat dicatat bahwa tiap sistem penguat bunyi saluran tunggal terdiri dari tiga komponen pokok: *mikrofon, penguat* (amplifier), dan *pengeras suara* (loudspeaker) (Gambar 11.2).

Mikrofon, yang ditempatkan dekat sumber bunyi, sebenarnya menangkap energi bunyi yang diradiasi oleh sumber, mengubahnya menjadi energi listrik, dan meneruskannya kepada penguat. Penguat memperbesar sinyal listrik dan menyerahkannya kepada pengeras suara, yang mengubah sinyal listrik menjadi gelombang bunyi di udara untuk distribusi ke pendengar dengan suatu tingkat yang dibutuhkan. Suatu sistem bunyi akan memberi hasil yang memuas-



Gambar 11.2 Komponen dasar sistem penguat bunyi saluran tunggal.

kan hanya bila semua komponen mempunyai kualitas tinggi, bila rancangannya dipadukan secara hati-hati dengan karakteristik arsitektur dan akustik auditorium, dan bila sistem itu dioperasikan oleh orang yang ahli, yang mengerti acara bunyi tersebut dan dapat menyesuaikannya dengan pementas-pementas yang berlainan.

11.3 Sistem Pengeras Suara (Loudspeaker)

Jika mikrofon akan ditempatkan pada ujung pengirim (sending end) suatu auditorium, tiga jenis sistem pengeras suara utama dapat digunakan:

1. Sistem yang ditempatkan secara terpusat dengan pengeras suara gugus (cluster) tunggal di atas sumber bunyi.

2. Sistem yang didistribusi, yang menggunakan sejumlah pengeras suara di atas dan ditempatkan di seluruh auditorium.

3. Sistem stereofonik, dengan pengeras suara gugus dua atau lebih sekeliling bukaan panggung atau sumber bunyi.

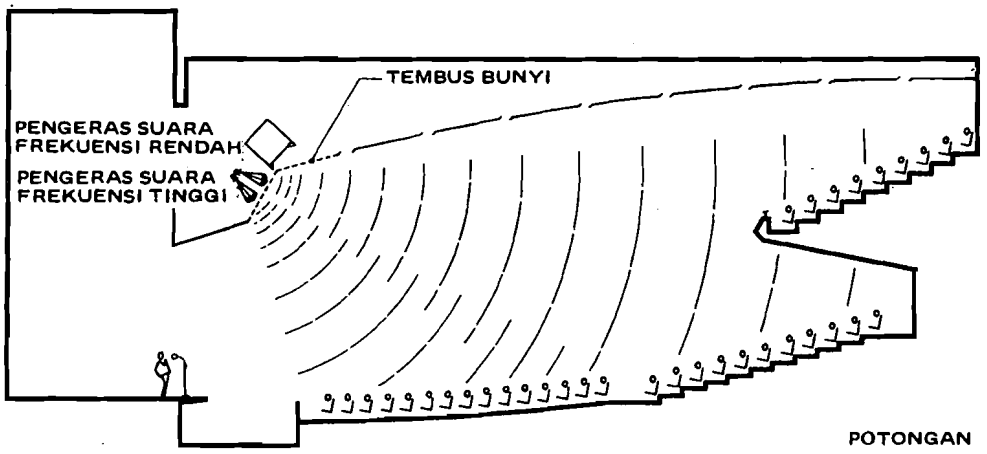
Sistem sentral (atau *bagian depan ruang*) (Gambar 11.3), yang lebih disukai, memberi kewajaran maksimum karena bunyi yang diperkuat datang dari arah yang sama dengan bunyi asli. Ini memberikan kesan kekerasan dan kejelasan yang bertambah, tetapi penonton menghubungkan bunyi dengan pementas, tidak dengan pengeras suara.

Walaupun sebagai aturan lebih disukai untuk menggunakan sistem pengeras suara sentral, ada banyak keadaan di mana suatu *sistem yang terdistribusi* (Gambar 11.4) harus digunakan, misalnya:

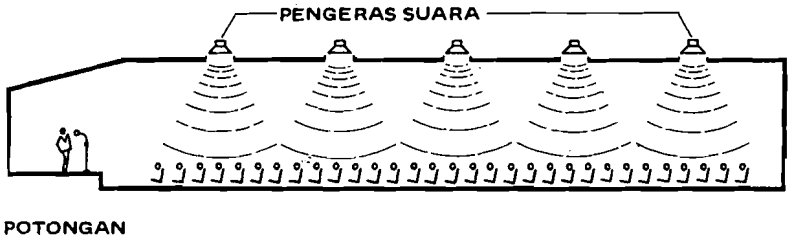
1. Dalam auditorium dengan langit-langit yang terlampau rendah untuk instalasi sistem sentral.

2. Di mana bagian terbanyak pendengar (mayoritas) tidak mempunyai garis pandang cukup ke pengeras suara sentral.

3. Bila bunyi harus disediakan untuk penonton yang melimpah.



Gambar 11.3 Sistem penguat suara sentral, atau di depan ruang.



Gambar 11.4 Sistem pengeras suara terdistribusi.

4. Dalam ruang-ruang besar (ruang rapat, ruang dansa, gedung terminal, dan lain-lain) di mana fleksibilitas maksimum dibutuhkan untuk menguatkan sumber bunyi dalam tiap bagian ruang dan di mana bunyi yang diperkuat harus mengatasi tingkat bising latar belakang yang tinggi yang ada dalam ruang tersebut.

5. Dalam ruang di mana ada kemungkinan untuk membagi ruang menjadi beberapa daerah yang lebih kecil.

Walau keaslian tak dapat diharapkan dari suatu sistem pengeras suara yang didistribusikan, ia toh memberikan inteligibilitas yang tinggi jika ruang tidak terlampau dengung.

Dalam sistem yang terdistribusi, beberapa pengeras suara diletakkan di langit-langit, menghadap ke bawah ke penonton dan dioperasikan pada tingkat bunyi yang relatif rendah tetapi nyaman. Tiap pengeras suara ditempatkan hanya untuk menjangkau daerah tertentu saja. Pengeras suara sistem yang didistribusikan harus sekitar 20 sampai 45 ft (6 sampai 13,5 m) di atas ketinggian lantai.

Jika bunyi yang diperkuat diberikan lewat sistem yang terdistribusikan ke pendengar yang duduk di bagian belakang ruang yang sangat panjang, ia akan menerima bunyi yang diperkuat dari pengeras suara di atas sebelum bunyi langsung dari pembicara tiba padanya, karena bunyi langsung merambat di udara dengan kecepatan 1.130 ft per sekon (344 m per sekon) sedang sinyal yang diperkuat secara elektronik antara mikrofon dan pengeras suara merambat dengan kecepatan cahaya. Bila penundaan antara tibanya bunyi asli besar (65 m sekon atau lebih), maka bunyi seakan-akan datang dari pengeras suara; hasilnya adalah gema buatan, hilangnya inteligibilitas, dan hilangnya kesan keaslian bagi pendengar. Hal ini dapat diatasi bila mekanisme penundaan waktu yang cocok digunakan dalam rangkaian listrik sistem penguat tadi. Sistem semacam itu menunda bunyi yang diperkuat di pengeras suara supaya bunyi yang diperkuat mencapai pendengar pada waktu yang sama dengan bunyi langsung (bunyi asli).

Penggunaan sistem pengeras suara sentral dan yang terdistribusi secara serentak, adalah baik untuk auditorium tertentu dan kadang-kadang perlu.

Sistem bunyi stereofonik menggunakan dua atau lebih mikrofon yang dipisahkan secara tepat di depan daerah pentas dan dihubungkan lewat saluran penguat terpisah ke dua atau lebih pengeras suara yang bersangkutan, yang harus dipisahkan di bagian depan daerah pendengar dengan pola yang sama seperti mikrofon-mikrofon yang bersangkutan. Sistem semacam itu memberi kesan bahwa bunyi datang dari sumber asal, tanpa diperkuat, karena bunyi sebenarnya akan mendekat dari pengeras suara di atas (atau di bawah) sumber asal pada intensitas yang sebanding dengan jarak dari sumber ke mikrofon. Karena telinga tidak mampu menempatkan sumber bunyi dalam bidang vertikal; ia hanya dapat menunjukkan tempatnya/melokasi dalam bidang horisontal.

Sistem bunyi stereofonik, yang terutama digunakan di panggung-panggung besar di mana bunyi berasal dari sumber yang bergerak atau suara-suara dan instrumen yang berkelompok, memberikan kesan bunyi yang didistribusi di tempat sumber-sumber bunyi. Ia menambah keaslian/kemurnian bunyi dan kenikmatan mendengar dengan nyata. Namun, harus ditekankan bahwa reproduksi bunyi stereofonik harus dipisahkan hanya bila dibutuhkan dalam musik, tanpa merusak hubungan yang perlu di antara mereka. Penggunaan sistem bunyi stereofonik dalam auditorium meminta perhatian tertentu untuk mencapai pengaturan optimum dari peralatan dan mengikutsertakan jumlah komponen sistem yang bertambah dalam rancangan keseluruhan.

Jika mikrofon didistribusikan dalam auditorium (gedung parlemen, ruang konperensi dan lain-lain), penempatan pengeras suara membutuhkan pemecahan tersendiri pada tiap kejadian.

Dalam menempatkan pengeras suara, harus diingat bahwa (1) tiap pendengar dalam ruang harus mempunyai garis pandang pada pengeras suara tertentu yang direncanakan membekalinya dengan bunyi yang diperkuat; (2) gugus pengeras suara (terutama jenis sentral) membutuhkan ruang yang banyak; dan (3) pengeras suara yang tersembunyi harus disembunyikan di belakang terali yang tembus bunyi (bening-bunyi) yang tidak boleh mengandung elemen-elemen skala besar. Pengeras suara tidak boleh ditempatkan di belakang panel yang memantul bunyi.

Pengeras suara harus selalu meradiasi energi bunyinya pada penonton yang menyerap bunyi tanpa energi bunyi (atau minimum) yang diradiasikan pada permukaan pemantul bunyi. Ini terutama penting dalam auditorium dengan RT yang panjang.

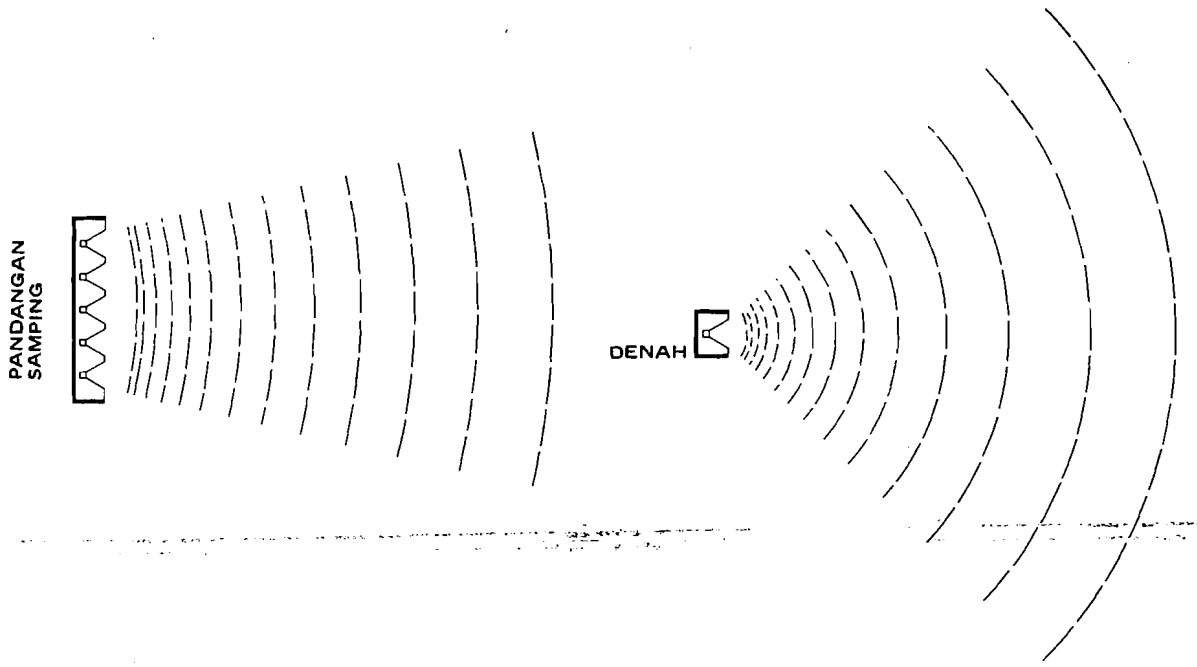
Berbagai jenis pengeras suara dapat digunakan baik untuk sistem sentral maupun yang didistribusi. Dalam beberapa kasus, pengeras suara *garis* atau *kolom* lebih disukai dibanding corong radial atau multicellular biasa. Pengeras suara kolom memusatkan sebagian besar dari bunyi ke dalam berkas yang mempunyai penyebaran angular yang lebar dalam bidang hori-

sontal dan penyebaran yang sempit dalam bidang vertikal, seperti ditunjuk dalam Gambar 11.5.

Walaupun pemilihan gugus pengeras suara sentral ada dalam tangan ahli teknik elektro, pemaduan sistem pengeras suara sentral yang membutuhkan ruang dengan denah arsitektur selalu merupakan masalah serius kecuali arsitek dimintai saran pada saat permulaan.

Perhatian khusus harus diberikan pada lokasi mikrofon relatif terhadap pengeras suara pada sistem sentral dan sistem terdistribusi, untuk menghindari umpan-balik yang terkenal, yaitu lengkingan atau deru (howling). Gejala ini, yang khas pada sistem bunyi yang dirancang dengan jelek, biasanya terjadi (1) bila bunyi yang diradiasikan dari pengeras suara ditangkap oleh mikrofon, (2) bila permukaan pemantul ruang ditempatkan sedemikian hingga bunyi pantul dipusatkan di mikrofon, (3) dalam ruang yang sangat dengung. Umpan-balik sering tercatat dalam jangkauan frekuensi dengung maksimum, yang dapat dieliminasi oleh metoda yang disebut *penyamaan pita kritis* (critical band equalization) dalam akustik-elektro. Metoda ini, misalnya, memungkinkan mempertahankan RT yang relatif panjang dalam gereja tanpa bahaya umpan-balik.

Pengendalian sistem penguat bunyi selama penggunaan dalam auditorium dengan kebutuhan akustik tertentu (seperti teater, rumah opera, gedung konser, dan auditorium serba-



Gambar 11.5 Diagram pengeras suara kolom, yang menunjukkan penyebaran sudutnya yang lebar dalam bidang horisontal dan penyebaran sudutnya yang sempit dalam bidang vertikal.

guna) dilakukan dari ruang pengendali yang diisolasi-bunyi secara baik, biasanya ditempatkan di belakang penonton di bagian belakang ruang. Sebagai tambahan konsol pengendali bunyi, ruang pengendali bunyi biasanya juga menyimpan peralatan-peralatan lain seperti para-para penguat, tombol/saklar komunikasi, tape recorder, pemain rekord, pengendali bunyi pencampur dan pengeras suara monitor. Ruang pengendali bunyi harus mempunyai jendela yang menghadap daerah penonton yang dapat dibuka, sehingga operator dapat melihat dan mendengar pertunjukkan pada kondisi sama seperti penonton; ia harus mempunyai pandangan pada beberapa bagian daerah penonton; ia harus dapat dicapai selama pertunjukkan tanpa melewati daerah penonton.

Dalam kasus-kasus khusus sistem bunyi dikendalikan dari daerah penonton. Walaupun pengaturan ini mengorbankan beberapa tempat duduk untuk melengkapi konsol pengontrol bunyi, namun hal ini biasanya menghasilkan pertambahan kualitas kendali.

KEPUSTAKAAN

Buku

Rettinger, M.: *Practical Electroacoustics*, Chemical Publishing Company, Inc., New York, 1955, 271 halaman.

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, bab 6.

Burris-Meyer, H., and V. Mallory: *Sound in the Theater*, Radio Magazines, Inc., Mineola, N.Y., 1959, 95 halaman.

McPartland, J.F.: "Sound Systems", in J.H. Callender (ed.), *Time-saver Standards*, 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1966, halaman 930–933.

Majalah

Muncey, R.W., and A.F.B. Nickson: "Improving Church Acoustics with Sound Reinforcement", *J. RAIC*, Agustus 1956, halaman 306–308.

Klepper, D.L.: "Sound Systems", *Progressive Architecture*, Agustus 1961, halaman 140–148.

Newman, R.B., and W.J. Cavanaugh: "Sound Systems", *Architectural Record*, Desember 1961, halaman 161–162; Januari 1962, halaman 158.

Klepper, D.L.: "Designing Sound-amplification Systems", *Architectural and Engineering News*, Maret 1964, halaman 26–35.

Boner, C.P., and C.R. Boner: "Sound-reinforcing System Design", *Applied Acoustics*, April 1968, halaman 115–119.

Davis, D.: "Sound Systems Equalization", *Progressive Architecture*, September 1969, halaman 121–123.

Caddy, R.S.: "Elements of Voice-reinforcement Systems in Halls", *Applied Acoustics*, Oktober 1969, halaman 259–268.

Parkin, P.H., and K. Morgan: "Assisted Resonance in the Royal Festival Hall, London: 1965–1969", *J. Acoust. Soc. Am.*, Nopember 1970, halaman 1025–1035.

BAB DUABELAS

Perbaikan Akustik pada Auditorium yang sudah Ada

Sayang bahwa praktis di seluruh dunia, banyak auditorium-auditorium yang ada, menderita akustiknya dari yang lemah sampai yang merusak. Beberapa telah dibangun ketika ilmu akustik berada dalam keadaan yang relatif belum berkembang dan arsitek tidak mempunyai dasar akustik yang dapat diandalkan untuk melanjutkan rancangan akustik; mencapai keberhasilan akustik seringkali merupakan masalah keberuntungan yang kebetulan. Beberapa auditorium, terutama yang dibangun untuk tujuan-tujuan tertentu sesudah itu digunakan untuk jangkauan fungsi yang lebih luas, yang menyingkapkan cacat-cacat akustik.

12.1 Segi-segi Akustik Ruang dalam Auditorium Dengan Rancangan Akustik yang Buruk

Dalam auditorium dengan rancangan akustik yang buruk, biasanya satu atau lebih unsur-unsur berikut ini dijumpai:

1. Dengung berlebihan.
2. Kekerasan kurang.
3. Cacat akustik seperti gema, gaung/pemantulan yang berkepanjangan, pemusatan bunyi, dan titik-titik mati jelas.
4. Sistem penguat bunyi tidak memadai.
5. Bising yang mengganggu mempengaruhi acara bunyi.

Bab 4 dan 6 menunjukkan bahwa RT tergantung pada volume auditorium dan jumlah elemen penyerap bunyi (lapisan akustik, penonton, karpet, dan lain-lain) dalam ruang. RT dapat bervariasi antara 0.5 sekon (dalam ruang keluarga biasa) dan 8 sampai 12 sekon atau lebih (dalam gereja yang besar). Jika RT pendek (sekitar 1 sekon atau kurang), dengung ruang biasanya akan dianggap nyaman dan dapat diterima karena ia tak mengganggu acara bunyi. Sebaliknya, bila RT lebih panjang dari 1 sekon; maka ia akan mengganggu pembicaraan/pidato, dan bila RT jauh lebih panjang dari 2 sekon, ia akan merusak kenikmatan sebagian besar jenis musik.

RT yang berlebihan dalam auditorium terjadi karena auditorium terlampau besar (biasanya tinggi ruang berlebihan) atau karena lapisan permukaan penyerap bunyi tidak ada. Seperti telah diketahui, kekurangan lapisan akustik tidak akan menyebabkan dengung yang berlebihan selama auditorium berisi penuh sesuai daya tampungnya; penyerapan yang dilakukan oleh penonton akan mengurangi RT dengan memuaskan (kadang-kadang bahkan terlampau banyak). Hanya bila auditorium berisi sebagian, ruang menjadi terlampau dengung. RT yang disarankan untuk auditorium diberikan dalam Gambar 6.14.

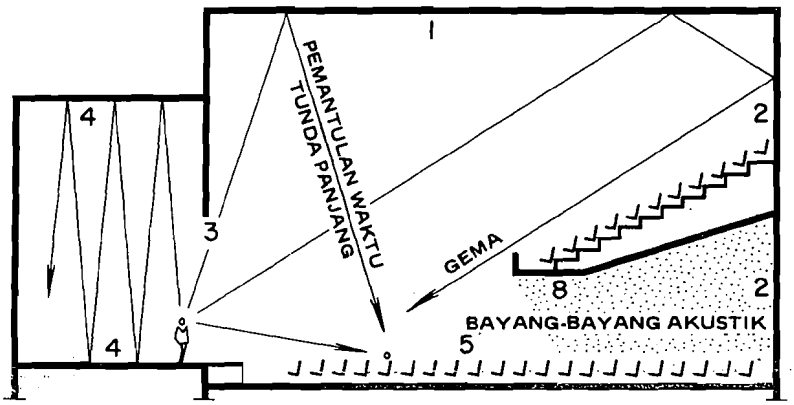
Kekerasan yang tak memadai disebabkan karena kurangnya pemberian permukaan pemantul bunyi sekitar sumber bunyi dan sepanjang langit-langit dan juga pada lantai datar di daerah penonton. Rancangan akustik yang jelek di beberapa auditorium terdiri dari pengguna-

an tegel akustik yang tidak benar pada seluruh daerah langit-langit, yang juga menyebabkan kekerasan yang tak memadai. Kekerasan biasanya dianggap cukup bila pendengar cukup dekat dengan sumber bunyi, tetapi pada jarak 20 ft (6 meter) atau lebih, kekerasan turun dan pengaruh dengung ruang yang berlebihan mengganggu dengan jelas.

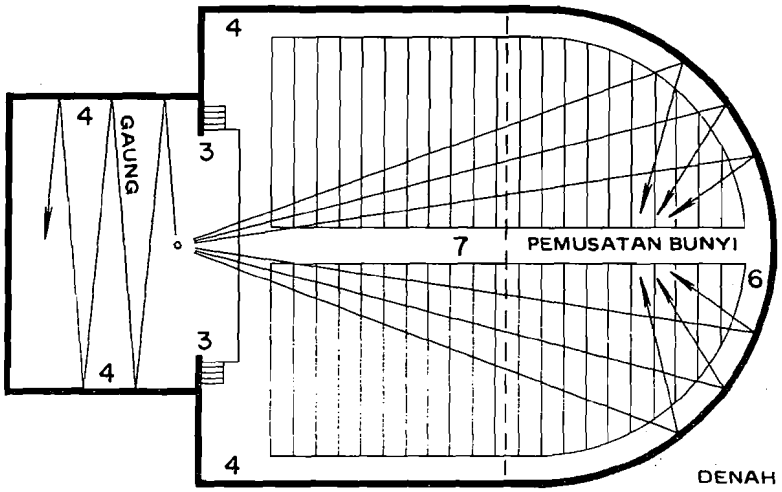
Cacat akustik seperti gema, pemantulan yang berkepanjangan, dan pemusatan bunyi disebabkan karena kurangnya lapisan penyerap bunyi pada daerah yang menyebabkan cacat atau karena keadaan sejajar yang tak diinginkan antara permukaan pemantul yang berhadapan dekat dengan sumber bunyi.

Sejak ilmu akustik-elektro merupakan janin (embrio, sesuatu yang dipersiapkan) ketika banyak auditorium yang jelek akustiknya ini dibangun, tidak mengherankan bahwa sistem penguat bunyinya biasanya memperkuat cacat akustik, menambah dengung yang berlebihan, dan berperan sedikit dalam memperbaiki inteligibilitas. Di samping itu, mereka dioperasikan secara tidak tepat, sehingga sering mengakibatkan umpan balik yang mengganggu.

Sekitar 20 tahun yang lalu konsep insulasi bunyi, yang begitu menonjol dewasa ini, sebenarnya tidak ada; keterangan tentang insulasi bunyi tembok-tembok adalah tidak lengkap, kadang-kadang bahkan menyesatkan. Dalam dasawarsa terakhir ini, sumber bising dan tingkat intensitasnya telah bertambah sampai tingkat yang merusak. Untuk semua alasan ini, singkap (exposure) terhadap interior yang tidak dikendalikan (mekanik) dan bising serta getaran eksterior mungkin merupakan cacat akustik yang paling serius pada auditorium-auditorium yang ada. Gambar 12.1 menunjukkan beberapa segi dari suatu auditorium yang buruk rancangan akustiknya.



POTONGAN



DENAH

Gambar 12.1 Kesalahan yang biasa terjadi dalam auditorium dengan rancangan akustik yang buruk: (1) ketinggian ruang yang berlebihan dibandingkan panjangnya; (2) kurangnya lapisan akustik sepanjang dinding yang berhadapan dengan sumber bunyi; (3) kurangnya pemantul bunyi di sumber bunyi; (4) kesejajaran antara permukaan-permukaan yang berhadapan di sumber bunyi; (5) lantai penonton yang datar; (6) dinding belakang yang melengkung; (7) lorong sepanjang sumbu longitudinal daerah penonton; (8) kedalaman balkon yang berlebihan.

12.2 Langkah-langkah yang Disarankan untuk Memperbaiki Akustik

Lingkungan yang ada dan pertimbangan finansial biasanya membatasi langkah-langkah yang dapat dilakukan demi perbaikan akustik suatu auditorium yang sudah berdiri.

Reduksi RT dapat diperoleh dengan mereduksi volume ruang atau dengan memasukkan permukaan penyerap bunyi sepanjang bagian-bagian yang menutup ruang (tembok, pintu dan lain-lain). Reduksi volume ruang tidak ekonomis karena hal ini sangat mengganggu kondisi bangunan, mekanis dan penerangan yang ada; lapisan akustik adalah cara yang lebih realistik untuk perbaikan. Permukaan-permukaan dinding yang berhadapan dengan sumber bunyi yang menghasilkan gema harus dilapisi lebih dahulu, kemudian bagian-bagian dinding samping, dan mungkin juga langit-langit. Bila langit-langit yang ada demikian tingginya hingga menyebabkan pemantulan berkepanjangan yang merusak, maka seluruh langit-langit harus diatur secara akustik. Untuk memilih lapisan permukaan penyerap bunyi yang cocok, rekomendasi-rekomendasi yang bersangkutan yang dijelaskan dalam Bab 5 dan 6 harus diikuti. Penggunaan karpet sepanjang lantai dan dinding, tempat duduk sandaran empuk, dan tirai sepanjang dinding fenetrated atau dinding pemantul bunyi yang harus diperhatikan.

Untuk memperbaiki kekerasan dalam ruang yang ada, sumber bunyi harus dinaikkan sebanyak mungkin, untuk menyediakan pengadaan bunyi langsung yang banyak ke pendengar. Permukaan pemantul bunyi yang besar harus digantung sekeliling sumber bunyi dan sepanjang langit-langit. Dengan menciptakan pemantulan dengan waktu tunda singkat, mereka menjamin bahwa penundaan waktu antara bunyi langsung dan bunyi pantul tidak melebihi 30 sampai 35 msekon, sesuai dengan perbedaan jejak maksimum sebanyak 35 sampai 40 ft (11 sampai 12 m) antara mereka. Memiringkan lantai penonton yang datar adalah pemecahan yang tidak benar karena selain biaya yang mahal ia juga membutuhkan tangga pada pintu masuk, sesuatu yang sukar digabungkan dengan denah apapun. Pemantul bunyi yang efisien dan banyak akan mengimbangi pengaruh yang merusak dari lantai penonton yang datar karena pemantulan-pemantulan bunyi tidak akan mencapai pendengar pada sudut datang miring (grazing), dengan demikian membawa energi bunyi tambahan yang sangat kuat ke tempat duduk-tempat duduk yang jauh. Untuk pemantul bunyi, dinding yang diplester, batu, beton, plywood dengan tebal paling sedikit $^3/_4$ in (19 mm), atau panel gypsum board yang tebalnya paling sedikit $^5/_8$ in (16 mm) dan beratnya paling sedikit sekitar 2,5 lb per ft persegi (12 kg per meter persegi) harus digunakan.

Gema, gaung dan lain-lain, dapat dihindari dengan menggunakan permukaan-permukaan akustik sepanjang permukaan yang menyebabkan cacat.

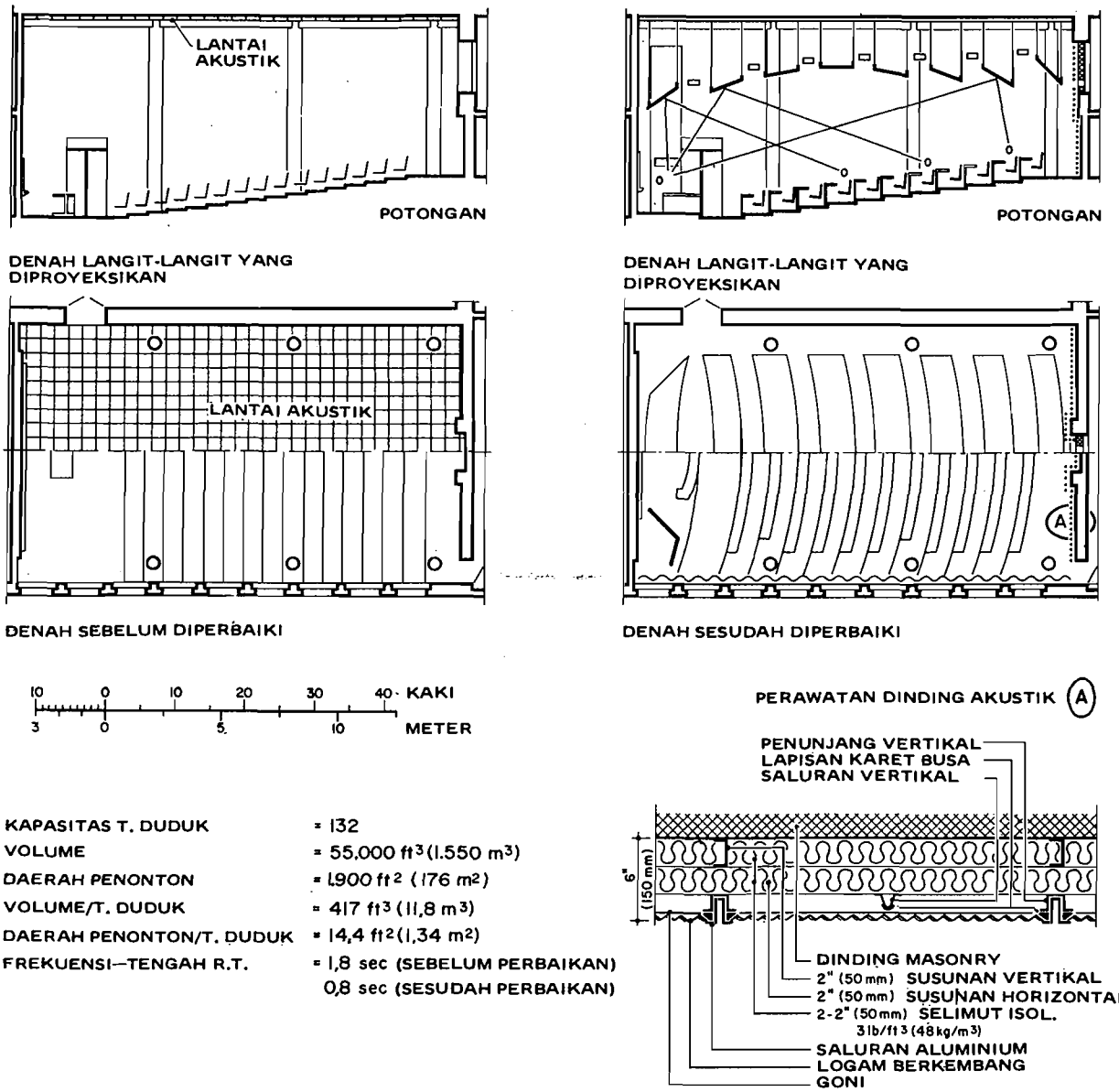
Jelaslah pentingnya mengganti sistem penguat pembicaraan yang ada dan buruk dengan sistem penguat bunyi berkualitas tinggi (Bab 11). Sistem bunyi yang dirancang, dipasang dan dioperasikan dengan baik akan membantu dalam reduksi dengung ruang yang diinginkan; kekerasan yang cukup, terutama jika untuk tiap alasan yang digambarkan di atas seluruh langit-langit auditorium diberi lapisan akustik; eliminasi cacat akustik; dan reduksi gangguan bising interior dan eksterior yang berlebihan dan merusak. Eliminasi bising dan getaran yang tak diinginkan dibahas dalam bab-bab selanjutnya.

Gambar 12.2 menunjukkan contoh praktis dari perbaikan akustik dalam auditorium yang sudah ada, yang semula dibangun dengan ketinggian yang berlebihan dan langit-langit yang ditutup dengan tegel akustik. Perbaikan akustik mencakup (1) pemasangan pemantul bunyi yang dimiringkan dan diangkat secukupnya sekeliling podium dan digantung pada langit-langit (Gambar 12.3), (2) pemberian karpet pada lantai dan desk-wall dan pemberian lapisan penyerap bunyi sepanjang dinding belakang yang menghasilkan gema (Gambar 12.4), (3) menggantungkan tirai fiberglas sepanjang salah satu dinding samping, dan (4) pemasangan sistem penguat pembicaraan berkualitas tinggi. Gambar 12.5 menunjukkan interior ruang setelah perbaikan akustik.

KEPUSTAKAAN

Intisari

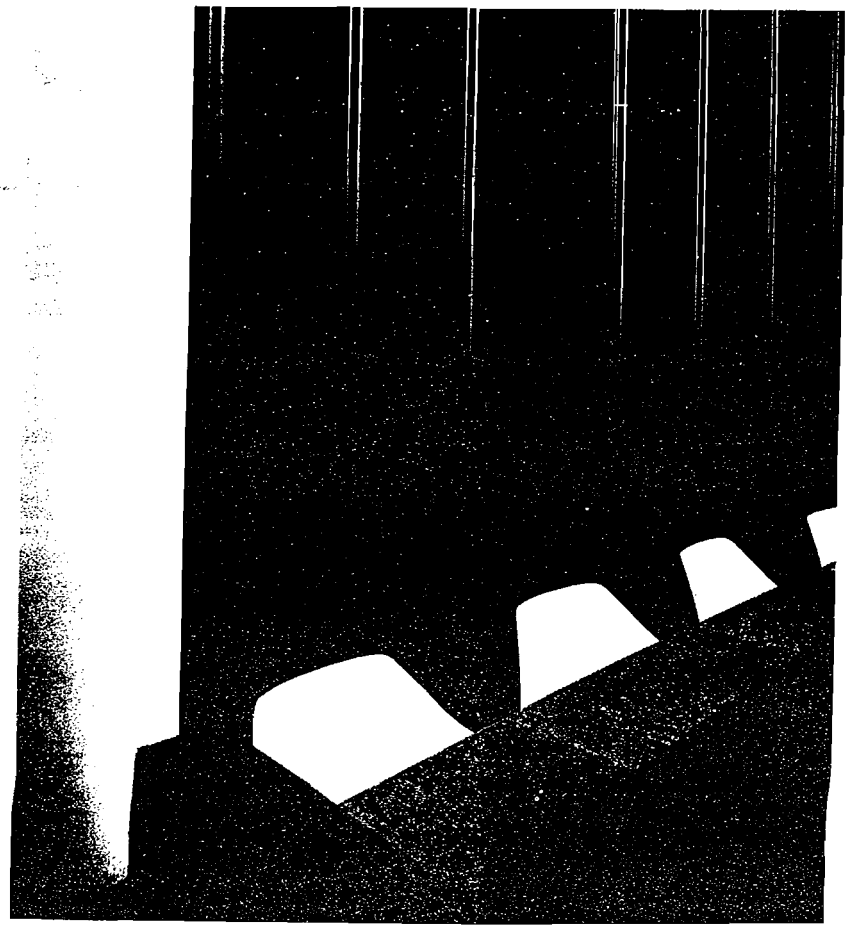
Improving Room Acoustics, Building Research Station Digest 82, Garston, Herts, Mei 1967, 8 halaman.



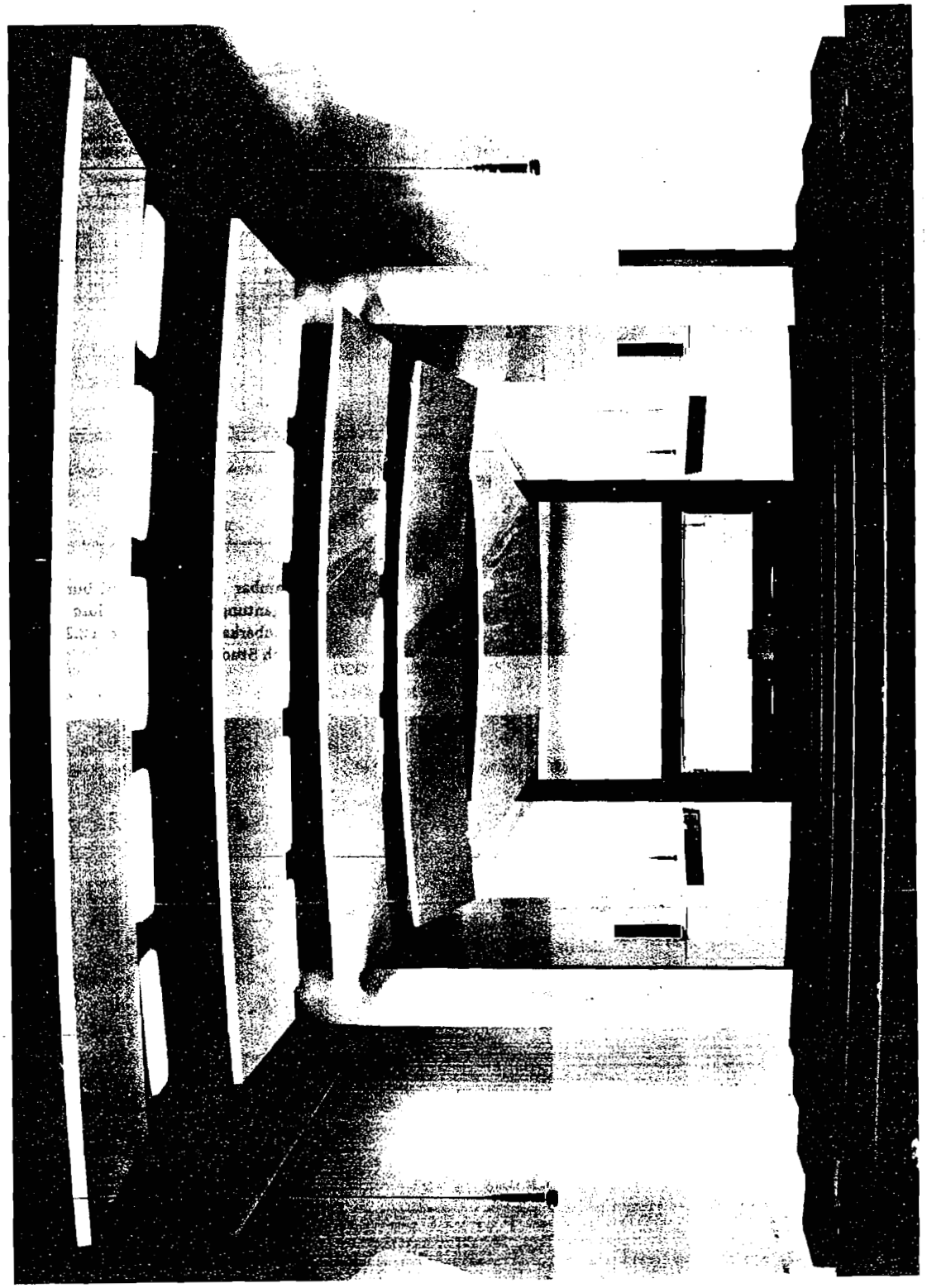
KAPASITAS T. DUDUK	= 132
VOLUME	= 55.000 ft³ (1.550 m³)
DAERAH PENONTON	= 1.900 ft² (176 m²)
VOLUME/T. DUDUK	= 417 ft³ (11,8 m³)
DAERAH PENONTON/T. DUDUK	= 14,4 ft² (1,34 m²)
FREKUENSI—TENGAH R.T.	= 1,8 sec (SEBELUM PERBAIKAN)
	0,8 sec (SESUDAH PERBAIKAN)

Gambar 12.2 Perbaikan akustik pada auditorium yang sudah ada, di Universiti de Montreal (1970).

Gambar 12.3 Pemantul bunyi yang digantung dalam auditorium yang digambarkan di Gambar 12.2. (Foto oleh Studio Bowe.)



Gambar 12.4 Gambar dekat dari *dinding A* pada auditorium yang ditunjukkan dalam Gambar 12.2. (Foto oleh Studio Bowe.)



Gambar 12.5 Interior auditorium dengan 132 tempat duduk, yang ditunjukkan dalam Gambar 12.2 setelah perbaikan akustik. (Foto oleh Studio Bowe.)

BAGIAN TIGA

Pengantar Pengendalian Bising Lingkungan

Pengendalian Bising Lingkungan

[illegible]

[illegible]

[illegible]

15.1 Pengaruh Bising

Semua bunyi yang mengganggu perhatian, [illegible] bagi kesehatan sehari-hari (kerja, istirahat, belajar) [illegible] Bising. Sebagai definisi standar, [illegible] bunyi yang tak diinginkan oleh manusia. [illegible] bising [illegible] pengganggu atau [illegible] sebagai bising [illegible]. Apabila bunyi dinyatakan [illegible] oleh seseorang [illegible] bunyi tetapi juga pada [illegible] kebisingan, [illegible] reaksi [illegible] dan jika [illegible] seperti [illegible] bunyi dan kondisi [illegible] pada [illegible] mungkin merupakan [illegible] bising [illegible] bising [illegible] yang [illegible] di kantor dalam kota [illegible] atau [illegible] terhadap [illegible] atau [illegible] gangguan [illegible] jauh lebih [illegible] air yang [illegible] dari kran bukan bising yang [illegible] sebaliknya, bunyi dengan tingkat tinggi seperti [illegible] yang [illegible] yang dapat merupakan [illegible] yang [illegible].

Seseorang cenderung mengabaikan [illegible] yang [illegible] bising [illegible] seperti [illegible] bising yang [illegible] pria, [illegible] bising yang [illegible] lebih [illegible] bising yang [illegible] lebih [illegible] [illegible]

BAB TIGABELAS

Pengantar Pengendalian Bising Lingkungan

Dengan bertambahnya urbanisasi sehubungan dengan pertambahan transportasi yang pesat dan pertambahan penggunaan mesin-mesin baru, yang lebih besar dan berkekuatan di mana-mana, bising telah menjadi hasil sampingan yang tak dapat diabaikan dari kehidupan kita yang telah dimekanisasi dan merupakan bahaya yang serius pula terhadap kesehatan kita. Dalam beberapa dasawarsa yang lewat tingkat bising keseluruhan dalam rumah-rumah di Amerika Utara secara rata-rata telah lebih dari dua kalinya.

Sasaran pengendalian bising adalah menyediakan lingkungan akustik yang dapat diterima di dalam maupun di luar rumah, sehingga intensitas dan sifat semua bunyi di dalam atau sekitar suatu bangunan tertentu akan cocok dengan keinginan penggunaan ruang tersebut. Pengadaan lingkungan akustik yang dapat diterima, yaitu, eliminasi atau reduksi yang cukup dari bising interior dan eksterior, adalah subyek dari bab-bab selanjutnya. Bebas bising adalah salah satu dari kualitas lingkungan yang paling berharga yang dapat dimiliki suatu gedung atau ruang eksterior dewasa ini.

13.1 Pengaruh Bising

Semua bunyi yang mengalihkan perhatian, mengganggu, atau berbahaya bagi kegiatan sehari-hari (kerja, istirahat, hiburan, atau belajar) dianggap sebagai *bising*. Sebagai definisi standar, tiap bunyi yang tak diinginkan oleh penerima dianggap sebagai bising. Jadi, pembicaraan atau musik akan dianggap sebagai bising bila mereka tak diinginkan. Apakah bunyi diinginkan atau tidak oleh seseorang tidak hanya akan tergantung pada kekerasan bunyi tetapi juga pada frekuensi, kesinambungan, waktu terjadinya, dan isi informasi, dan juga pada aspek subyektif seperti asal bunyi dan keadaan pikiran dan temperamen penerima. Seorang anak yang berlatih pada piano mungkin merupakan suguhan musik bagi ayahnya sedangkan tetangga-tetangga bermaksud memanggil polisi karena hal itu. Bising pesawat terbang dapat diterima sepanjang siang hari di kantor dalam kota tetapi jelas akan merupakan gangguan yang tak diinginkan terhadap istirahat atau tidur pada sore atau malam hari di rumah. Secara umum, bising menghasilkan gangguan yang jauh lebih besar pada malam hari daripada siang hari. Tetesan air yang terus-menerus dari kran bukan bising yang keras, tetapi ia dapat mengganggu; sebaliknya, bunyi dengan tingkat tinggi, seperti orkestra yang bermain fortissimo, dapat merupakan kenikmatan yang luar biasa.

Seseorang cenderung mengabaikan bising yang dihasilkannya sendiri bila bising itu secara wajar menyertai pekerjaan, seperti bising mesin tik atau mesin kerja. Sebagai patokan, bising yang hakekatnya mekanik atau elektrik, yang disebabkan kipas angin, transformator, motor, pompa, pembersih vakum (vacuum cleaner) atau mesin cuci, selalu lebih mengganggu daripada bising yang hakekatnya alami (angin, hujan, air terjun dan lain-lain). Bising berfrekuensi tinggi lebih mengganggu daripada bising frekuensi rendah.

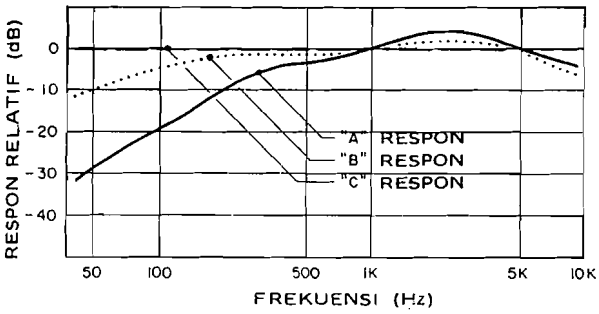
Pengaruh bising dengan jangkauan dari mengalihkan perhatian sampai sangat mengganggu sangat dikenal. Bahkan bising yang lembut dapat mengganggu mendengarkan pidato atau musik, menyebabkan pengaruh menutupi (masking) dan menaikkan ambang dapat didengar (threshold of audibility). Ia dapat mengganggu istirahat dan tidur dan bahkan dapat mengacaukan untuk mencegah mimpi. Namun, kekuatan tubuh manusia untuk secara efektif menyesuaikan dengan lingkungan yang bising sangat mengagumkan, terutama bila bisingnya kontinu, tidak terlampau keras, dan tidak membawa informasi yang berarti, yaitu pembicaraan yang jelas (inteligible) atau musik yang dapat dikenal (identifiable).

Bising yang cukup keras, di atas sekitar 70 dB, dapat menyebabkan kegelisahan (nervousness), kurang enak badan, kejenuhan mendengar, sakit lambung dan masalah peredaran darah. Bising yang sangat keras, di atas 85 dB, dapat menyebabkan kemunduran yang serius pada kondisi kesehatan seseorang pada umumnya; dan bila berlangsung lama, kehilangan pendengaran sementara atau permanen dapat terjadi. Bising yang berlebihan dan berkepanjangan terlihat dalam masalah-masalah kelainan seperti penyakit jantung, tekanan darah tinggi, dan luka perut.

Pengaruh bising yang merusak pada efisiensi kerja dan produksi telah dibuktikan secara statistik dalam beberapa bidang industri. Produksi turun dan pekerja-pekerja membuat lebih banyak kesalahan bila dipengaruhi oleh bising dengan tingkat tinggi, di atas sekitar 80 dB untuk waktu yang lama, tetapi ini tidak berarti bahwa manusia bekerja paling efisien dalam ruang yang tak tembus suara. Sebaliknya, juga diamati bahwa jika lingkungan akustik suatu ruang kerja terlampau sunyi, produksi turun dan pekerja-pekerja melakukan lebih banyak kesalahan. Ini membuktikan bahwa bising dalam jumlah tertentu mudah ditolerir dan sebenarnya sejumlah bising dibutuhkan untuk mempertahankan kesehatan jiwa. Tiap orang yang mendapat kesempatan untuk berada beberapa saat dalam ruang yang tak tembus suara (soundproof) (seperti *ruang tanpa gema* = anechoic room) di mana bunyi yang terlemah tak dapat tembus, mengetahui bahwa manusia tidak dapat mentolerir lingkungan yang sama sekali tak tembus suara untuk waktu yang berapa lama pun. Bukan kesunyian yang dibutuhkan tetapi ketenangan: tiadanya gangguan dan bukan sama sekali tak ada bunyi. Pengukuhan ini diperhatikan oleh pedagang (supplier) musik latar belakang, yang dengan baik memilih dan memperhitungkan waktu, dapat menciptakan suatu lingkungan yang nyaman dan menguntungkan dalam pertokoan, kantor, toko serba ada, hotel atau bengkel.

13.2 Pengukuran Bising

Bising dapat diukur dalam decibel dengan bantuan meter tingkat bunyi (sound level meter) (Bab 3). Untuk mengukur bunyi atau bising secara fisik dan juga untuk menghubungkan pengukuran dengan reaksi subyektif manusia, meter tingkat bunyi menyediakan karakteristik tanggapan frekuensi yang berbeda-beda dengan memasukkan *jala-jala pembobot* yang ditandai dengan A, B, dan C seperti ditunjukkan dalam Gambar 13.1. Jala-jala ini secara selektif membedakan frekuensi rendah dan tinggi sesuai dengan kurva tingkat kekerasan sama dalam Gambar 3.7 dan mendekati tanggapan frekuensi telinga manusia yang masing-masing mengikuti kurva kekerasan sama 40, 70, dan 100 phon. Jika, misalnya, pembobotan A digunakan, untuk



Gambar 13.1 Respon A, B, C meter tingkat-bunyi standar.

TABEL 13.1 Tingkat Bising Rata-rata yang Biasa (Typical)
(Beberapa Diukur pada Jarak Tertentu dari Sumber)

Sumber bising	Tingkat bising, dB
Detik arloji	20
Halaman tenang	30
Rumah tenang pada umumnya	42
Jalan pemukiman yang tenang	48
Kantor bisnis pribadi	50
Kantor lansekap	58
Kantor besar yang konvensional	60
Pembicaraan normal, 3 ft (90 cm)	62
Mobil penumpang di lalu-lintas kota, 20 ft (6 m)	70
Pabrik tenang	70
Mobil penumpang di jalan raya, 20 ft (6 m)	76
Pembicaraan keras, 3 ft (90 cm)	78
Pabrik yang bising	80
Mesin kantor, 3 ft (90 cm)	80
Ruang teletype surat kabar	80
Motor tempel 10-hp, 50 ft (15 m)	88
Lalu-lintas kota pada jam sibuk, 10 ft (3 m)	90
Jet besar lepas landas, 3.300 ft (1.000 m)	90
Motor sport atau truk, 30 ft (9 m)	94
Bedil riveting, 3 ft (90 cm)	100
Mesin potong rumput berdaya, 10 ft (3 m)	105
Band musik rock	113
Jet besar lepas landas, 500 ft (150 m)	115
Sirene 50-hp, 100 ft (30 m)	138
Rocket ruang angkasa	175

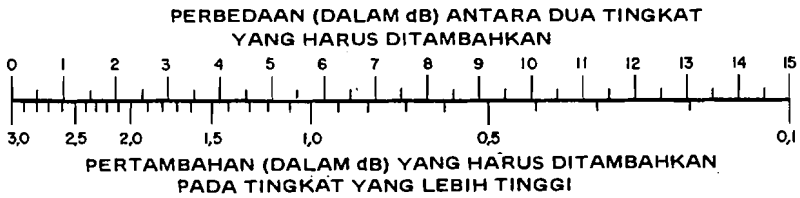
pengukuran tingkat bising di bawah 55 dB, ia akan menunjukkan *tingkat bunyi bobot-A,* dan pengukuran harus ditandai dengan dB-A, dan pembobotan B digunakan untuk bising antara 55 dan 85 dB, sedang pembobotan C untuk bising di atas 85 dB. Jika bising diukur pada meter tingkat bunyi dengan pembobotan, tanggapan-frekuensi dipilih sesuai dengan tingkat bising yang terukur, dan pembacaan yang diperoleh disebut tingkat bunyi. Pembacaan yang diperoleh dengan tanggapan frekuensi C (atau *datar*) adalah tingkat tekanan bunyi. Jala-jala A kadang-kadang digunakan sebagai ukuran banyaknya gangguan yang disebabkan bising. Adalah penting untuk mencatat pilihan pembobotan bersama dengan tingkat yang diamati.

Gambar 13.1 misalnya, menunjukkan bahwa pada skala A bising 50 Hz akan ditunjukkan pada tingkat 30 dB lebih rendah daripada bising 1000 Hz, tanpa perubahan apa pun pada tingkat tekanan bunyinya.

Jika karakteristik frekuensi suatu bising harus diamati, maka meter tingkat bunyi digunakan dengan penganalisis frekuensi. Penganalisis mempunyai satu kumpulan penyaring yang hanya membolehkan pita frekuensi tertentu, satu pita pada satu saat, untuk lewat. Hanya frekuensi-frekuensi yang dibolehkan lewat akan diukur oleh meter tingkat bunyi. Tipe penganalisis yang sederhana, disebut *penganalisis pita-oktaf,* dibagi menjadi beberapa pita satu oktaf.

Tingkat bunyi sumber-sumber bising tertentu, yang diukur dengan meter tingkat bunyi, didaftar dalam Tabel 13.1

Gabungan tingkat bising dua atau lebih sumber bising tidak merupakan jumlah masing-masing tingkat. Diagram dalam Gambar 13.2 dapat digunakan sebagai pendekatan yang baik untuk menggabungkan dua tingkat bising, tetapi ia juga dapat digunakan untuk menggabungkan beberapa tingkat bising. Jika tingkat tekanan bunyi S_1 dan S_2 dua sumber bising harus ditambahkan, dan jika S_2 lebih besar dari S_1, maka tingkat bising total dalam decibel sama dengan $S_2 + N$, di mana N adalah penambahan yang harus ditentukan dari Gambar 13.2, sesuai dengan perbedaan antara kedua tingkat tekanan bunyi yang harus ditambahkan. Akan terlihat



Gambar 13.2 Skala untuk menggabungkan tingkat-tingkat bising.

bahwa jika tingkat tekanan bunyi dua sumber bising adalah sama, perbedaan antara mereka sama dengan nol, dan tingkat bising resultante adalah 3 dB lebih tinggi dari tingkat salah satu sumber bunyi. Jika beberapa sumber bising yang semuanya mempunyai tingkat tekanan bunyi sama ditambahkan, mereka akan mempunyai tingkat tekanan bunyi total yang adalah 10 log q dB di atas tingkat tekanan bunyi yang sama, di mana q adalah jumlah sumber bising.

Bermacam-macam metode dikenal dan berbagai alat digunakan untuk mengukur getaran. Namun pembahasannya ada di luar lingkup buku ini.

13.3 Sumber-sumber Bising

Sumber bising utama dalam pengendalian bising lingkungan dapat diklasifikasi dalam kelompok: (1) *Bising interior,* berasal dari manusia, alat-alat rumahtangga, atau mesin-mesin gedung. Dinding-dinding pemisah, lantai, pintu dan jendela harus mengadakan perlindungan yang cukup terhadap bising-bising ini di dalam gedung. (2) *Bising luar* (outdoor), berasal dari lalu-lintas, transportasi, industri, alat-alat mekanis yang terlihat dalam gedung, tempat pembangunan gedung-gedung, perbaikan jalan, kegiatan olahraga dan lain-lain di luar gedung, dan iklan (advertising).

Jika bising berasal dalam satu ruang dan penerima ada di ruang lain, mereka masing-masing disebut *ruang sumber* dan *ruang penerima.*

13.3.1 Bising Interior Sumber bising yang paling sering dibuat oleh manusia dan yang harus dipertanggungjawabkan adalah yang disebabkan oleh radio dan televisi, alat-alat musik, bantingan pintu, pembicaraan yang keras, dan lalu-lintas di tangga. Selain itu dapat pula ditambahkan bunyi orang-orang yang pindah, anak-anak yang bermain, tangis bayi, dan lain-lain.

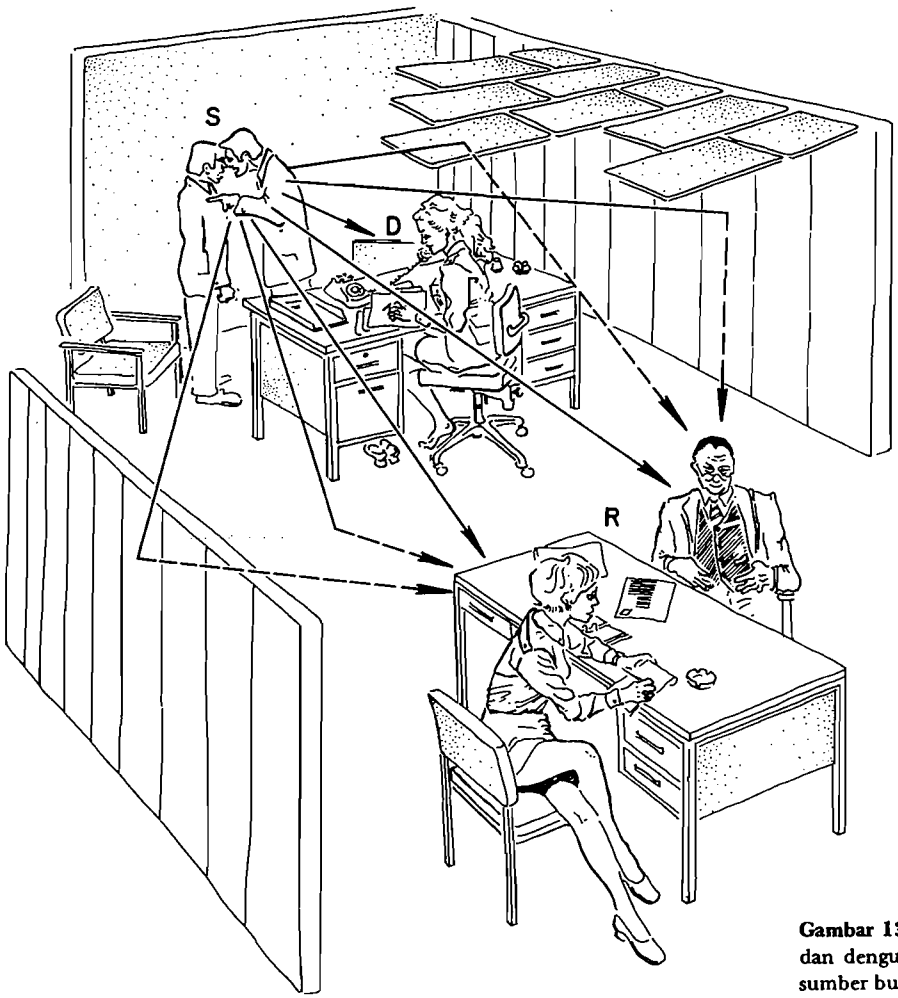
Bising bangunan dihasilkan oleh mesin dan alat rumahtangga, seperti kipas angin, motor, kompresor, pendingin, pencuci piring, penghancur sampah, mesin cuci, pengering, pembersih vakum, pengkondisi udara, penghancur makanan, pembuka kaleng, pembuat kilap lantai, pencukur listrik, pengering rambut dan lain-lain. Mereka menggambarkan sumber-sumber pengganggu yang serius, karena mereka terus-menerus diganti oleh unit-unit yang lebih mutakhir dengan keluaran yang lebih besar, kecepatan lebih tinggi, dan dengan sendirinya bising yang bertambah.

Tingkat bising yang sangat tinggi diproduksi dalam beberapa bangunan industri oleh proses pabrik atau produksi.

Tingkat bising yang terukur seperti terlihat dalam Tabel 13.1 melengkapi kita dengan kunci-kunci penting bila bising harus direduksi di ruang penerima dengan penggunaan konstruksi insulasi bunyi yang cocok, yang dibahas dalam Bab 14.

Tingkat bising di tiap posisi dalam ruang dibentuk oleh dua bagian: (1) bunyi yang diterima *secara langsung* dari sumber, dan (2) bunyi *dengung* (atau *yang dipantulkan*) yang mencapai posisi tertentu setelah pemantulan berulang-ulang dari permukaan-permukaan batas ruang. Ini ditunjukkan dalam Gambar 13.3. Sekitar sumber bising, bunyi-langsung menonjol dan secara bertahap menurun dengan bertambahnya jarak. Lebih jauh dari sumber bising, bunyi dengung lebih menguasai seluruh ruang (bila dimisalkan sumber bising adalah tidak terarah).

13.3.2 Bising Luar Bising yang paling mengganggu dari kategori ini dihasilkan oleh kendaraan, transportasi rel, transportasi air dan transportasi udara, termasuk truk, bus, mobil-mobil balap, sepeda motor, kereta rel, mesin-mesin diesel, kapal motor, kapal penyeret (tugboats),



Gambar 13.3 Medan bunyi langsung (D) dan dengung (R) dalam suatu ruang; S, sumber bunyi.

dan pesawat udara komersial serta pesawat militer. Sumber-sumber bising luar lainnya dapat ditemukan di alat-alat mekanis yang tampak (exposed) dalam bangunan (menara pendingin, pengkondisi udara, kompresor) dan alat-alat yang bergerak di darat (earth-moving) dan konstruksi (pemancang udara/air hammers, sekop, dan lain-lain). Suatu survai bising pendahuluan harus selalu dibuat di tempat-tempat yang dipilih untuk bangunan-bangunan di mana ketenangan adalah penting (gereja, studio rekaman, studio radio dan studio televisi, rumah sakit, sekolah, laboratorium riset, dan lain-lain) agar memungkinkan langkah-langkah pengendalian bising terhadap bising luar.

Karena sangat pentingnya dan ancaman luar biasa yang diberikannya pada masyarakat, bising pesawat udara, dibahas secara terpisah dalam paragraf berikut. Karena berhubungan dengan perencanaan kota, masalah bising kendaraan dimasukkan dalam paragraf 13.6.2.

Reduksi bising luar oleh jarak diatur oleh hukum balikan kuadrat (inverse-square-law). Penurunan 6 dB akan tercatat tiap kali jarak antara sumber dan penerima digandakan (Bab 3), bila tak ada permukaan pemantul bunyi dekat sumber bunyi. Selain itu terdapat pula atenuasi tambahan pada bising luar yang disebabkan absorbsi molekular, terutama pada frekuensi di atas 1000 Hz.

13.3.3 Bising Pesawat Udara Bising pesawat udara merupakan ancaman yang belum pernah terjadi sebelumnya pada lingkungan kita karena ia mempengaruhi jumlah orang yang selalu bertambah. Perjalanan dan transportasi udara akan terus berkembang: menjelang 1975 pelabuhan udara John F. Kennedy di New York menangani sekitar 50 juta orang, dan pelabuhan udara London (Heathrow) digunakan tiap tahun oleh sekitar 31 juta orang. Walau bising pesawat

udara (polusi bising terbesar pada zaman kita) secara terus-menerus dikecam, nampaknya kekurangpuasan yang tersebar meluas di banyak negara tidak disalurkan cukup cepat menjadi protes yang efektif. Ketika ancaman suara yang luar biasa dari transport supersonik (SST) menjadi kenyataan, jelaslah bahwa intensitas protes tidak sanggup mengatasi kenyataan bahwa berbilion dollar telah dikeluarkan oleh Inggris, Perancis dan Amerika untuk mengembangkan pesawat udara supersonik itu. Wajarlah untuk meramalkan bahwa kurban/bea (toll) yang berat dalam wujud kerusakan lingkungan harus dibayar untuk sedikit pertambahan (bila ada) dalam efisiensi, ekonomi, atau kemudahan yang ditawarkan oleh SST. Pada saat menulis buku ini, masalah ini di Amerika masih tetap merupakan suatu yang meragukan.

Walaupun banyak sekali usaha telah dilakukan untuk mereduksi bising pesawat udara, tidak ada pemecahan teknik yang terlihat. Pada saat beberapa langkah diambil untuk mengurangi, paling sedikit sebagian bising yang disebabkan oleh pesawat udara, manusia menuntut untuk terbang lebih cepat atau untuk menambah keuntungan. Ini akan menghasilkan pesawat udara yang lebih besar dan lebih berkekuatan, tentunya dengan tingkat bising yang bertambah tinggi. Makin banyak orang di daerah kota harus bergaul dengan bising pesawat udara atau pindah ke luar kota di mana pesawat udara biasanya tidak terbang. Karena itu, makin terasa kebutuhan bahwa arsitek dan perencana kota memperhatikan dengan serius ancaman yang menakutkan ini bagi lingkungan kita dan membuat usaha-usaha tertentu untuk mengendalikan bising pesawat udara dengan tiap cara yang dapat dilakukan oleh akustik lingkungan.

Bising yang diciptakan oleh pesawat jet berbeda dari bising yang dihasilkan oleh pesawat udara berbaling-baling dengan mesin pompa (piston engines). Karakteristik bising pesawat udara yang berbeda juga berubah dengan kondisi daya yang berbeda. Bising jet berasal dari bagian-bagian berbeda dari mesin, seperti jet, kompresor dan turbin. Raungan yang khas dari jet yang terbang dihasilkan oleh pencampuran yang keras dari gas buang yang panas dengan udara sekitarnya, terutama jelas selama tinggal landas dan naik, ketika dibutuhkan daya maksimum.

Pejabat pelabuhan udara biasanya menetapkan bahwa setelah tinggal landas tingkat bising di darat pada daerah pertama yang disentuh oleh pesawat udara tidak boleh melebihi nilai-nilai maksimum tertentu, untuk tiap arah pada tiap landasan kapal terbang (runway). Tingkat bising maksimum yang dibolehkan ini lebih tinggi pada siang hari dibanding pada malam hari. Pesawat udara bebas untuk mencapai batas ini dengan cara apa pun yang lebih disukainya, terutama dipengaruhi oleh persyaratan-persyaratan keamanan. Usaha mendarat, lereng/slope yang menurun dengan 3° terhadap horisontal diterima karena demi alasan keselamatan pesawat udara harus datang dengan sudut luncur (glide) yang rendah. Ini berarti bahwa gang yang sangat panjang harus dibiarkan bebas dari bangunan-bangunan untuk turunnya pesawat udara sebelum mereka mencapai ambang landasan (runway). Jelaslah, pelabuhan udara dengan landasan yang terus ke air (danau atau laut) dapat memenuhi persyaratan pengendalian bising dengan cara yang jauh lebih mudah dengan faktor keamanan yang lebih tinggi.

Untuk menilai reaksi orang terhadap bising dan gangguan pesawat udara, bermacam-macam skala dan diagram dikembangkan sebagai hasil penelitian yang sangat banyak untuk mencerminkan tanggapan subyektif manusia. Seperti *noise and number indeks*/indeks bilangan dan bising (NNI), *perceived noise level*/tingkat bising diterima (PNdB), *equal listener response*/tanggapan pendengar sama(ELR), dan lain-lainnya. Dalam membentuk skala-skala ini usaha telah dibuat untuk mengikutsertakan faktor obyektif dan subyektif yang mempengaruhi tanggapan, misalnya, intensitas dan frekuensi bising, jumlah dan lamanya penerbangan didengar, karakteristik waktu (siang atau malam), ketidak-terdugaan (nexpectedness), ketidak-diinginkan (unwanted), hubungan pengertian dengan bahaya, gangguan sementara dengan kegiatan, dan lain-lain. Pembaca yang berminat dapat melihat kepustakaan pada akhir bab ini.

Tipe bising pesawat udara yang paling serius, pada dasarnya adalah gelombang kejutan (shock wave) yang disebut *sonic boom*, suatu produk yang terkenal dari pesawat udara yang terbang dengan kecepatan supersonik, yaitu di atas sekitar 770 mph (sekitar 1.230 km per jam). Sonic boom dihasilkan terus menerus bila suatu pesawat udara terbang dengan kecepatan supersonik. Sonic boom akan terdengar, tanpa pemberitahuan terlebih dahulu, di tanah di

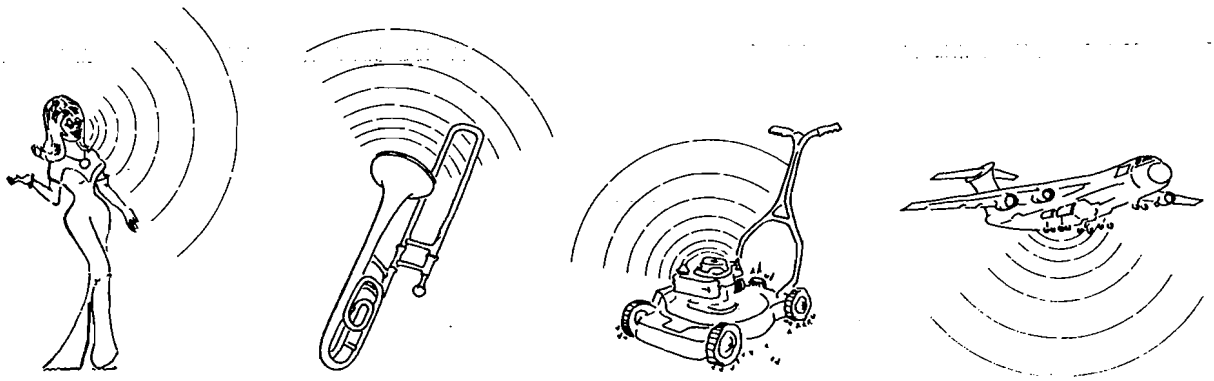
bawah dan sepanjang kedua sisi jejak penerbangan yang diproyeksikan. Daerah yang terpengaruh, yaitu, lebar *jalur* (belt) atau *karpet sonik,* dapat mencapai sekitar 50 sampai 80 mile (80 sampai 130 km), tergantung pada kecepatan dan ketinggian pesawat yang sedang terbang dan pada kondisi atmosfir yang sedang ada. Walaupun ada keprihatinan serius tentang jangkauan di mana manusia dan bangunan-bangunan dapat mentolerir sonik boom, adalah juga jelas bahwa bagian populasi yang jauh lebih banyak akan dipengaruhi olehnya daripada bising pesawat udara biasa. Adalah wajar untuk mengharapkan bahwa SST akan dibatasi dengan operasi di atas air, sampai terdapat cukup bukti bahwa akibat fisik dan fisiologis dapat dimengerti oleh sebagian besar penduduk. Beberapa negara, misalnya, Swiss, melarang SST.

Pesawat terbang lain yang juga menyebabkan bising yang tak diinginkan dalam daerah kota yang berpenduduk banyak adalah pesawat yang tinggal landas dan mendarat secara vertikal (VTOL), misalnya helikopter. Dengan bersyukur pada kemampuannya untuk tinggal landas secara vertikal, ia akan digunakan terus untuk jangkauan tujuan yang luas. Ia terutama berguna dalam menyediakan pelayanan ulang alik yang mudah antara daerah pusat kota (downtown) dan pelabuhan udara. Bising turbokopter yang terbang pada ketinggian 200 ft (60 m) dapat dibandingkan dengan bising truk disel berat pada jarak 10 ft (3 m). Bising helikopter dalam penerbangan datar (level flight) sekitar 1.000 ft (300 m) mungkin akan menyebabkan gangguan yang sama seperti bising lalu-lintas padat dalam daerah pusat yang sibuk selama jam-jam sibuk (rush hours) di kota yang ramai. Di daerah-daerah dekat stasiun helikopter (heliport) bising jelas jauh lebih besar. Namun, bila helikopter ditempatkan di atas bangunan bertingkat tinggi, bisingnya dapat diterima paling sedikit untuk waktu yang singkat, sebagai bagian dari bunyi hiruk pikuk di daerah bagian kota yang ramai/pusat kota (down town).

13.4 Bunyi yang Timbul Di Udara (Airborne) dan Di Struktur Bangunan (Structure Borne)

Bunyi dapat dihasilkan (1) di udara, misalnya suara manusia atau bunyi musik; (2) karena tumbukan/benturan, seperti berjalan-jalan, menjatuhkan suatu benda ke lantai, atau membanting pintu; dan (3) karena getaran mesin. Jadi bunyi yang dihasilkan merambat dari sumber melalui bermacam-macam jejak dalam bangunan.

Bila bunyi ditransmisi lewat udara saja, ia disebut *bunyi di udara* (airborne sound). Seseorang yang bercakap, seorang penyanyi, sebuah biola, sebuah trompet — semua menghasilkan bunyi di udara (Gambar 13.4).

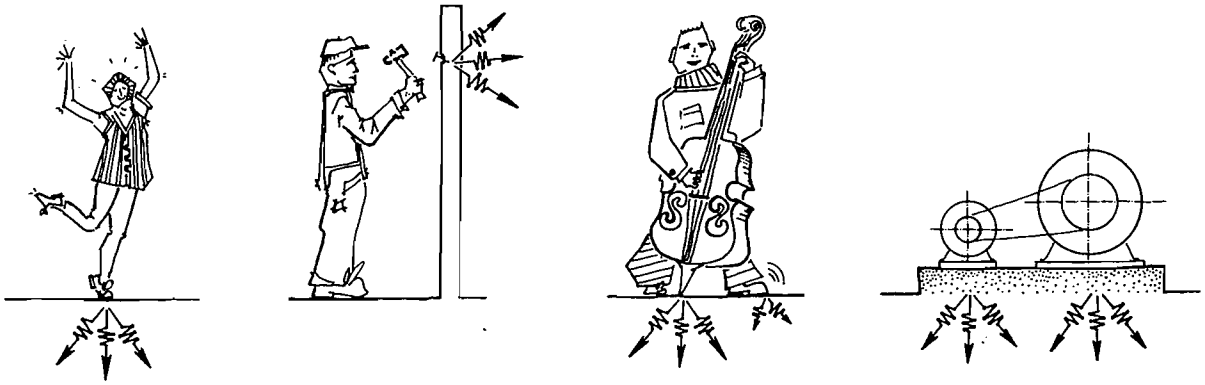


Gambar 13.4 Sumber-sumber bunyi di udara (airborne).

Bila suatu sumber bunyi tidak hanya memancarkan energinya lewat udara tetapi juga secara serentak menyebabkan bagian-bagian kerangka bangunan yang padat bergetar, maka ia disebut *bunyi struktur* (structure borne) atau *bunyi benturan* (impact sound). Bunyi suatu cello atau bas ganda, bising langkah-langkah kaki, dan kebanyakan bising yang dihasilkan motor, kipas, dan semacamnya menggambarkan contoh bunyi struktur (Gambar 13.5).

Dari sudut pandang penerima, bunyi struktur tidak dapat dibedakan dari bunyi di udara. Bunyi struktur yang ditransmisi langsung lewat bangunan dipancarkan kembali oleh elemen-elemen bangunan tertentu, seperti tembok, balok, panel, langit-langit gantung, plesteran ber-

bulu (furred-out plaster), dan papan-papan bangunan, dan akhirnya mencapai pendengar sebagai bunyi di udara.



Gambar 13.5 Sumber-sumber bunyi struktur bangunan (atau bunyi benturan).

13.5 Transmisi Bising dalam Bangunan

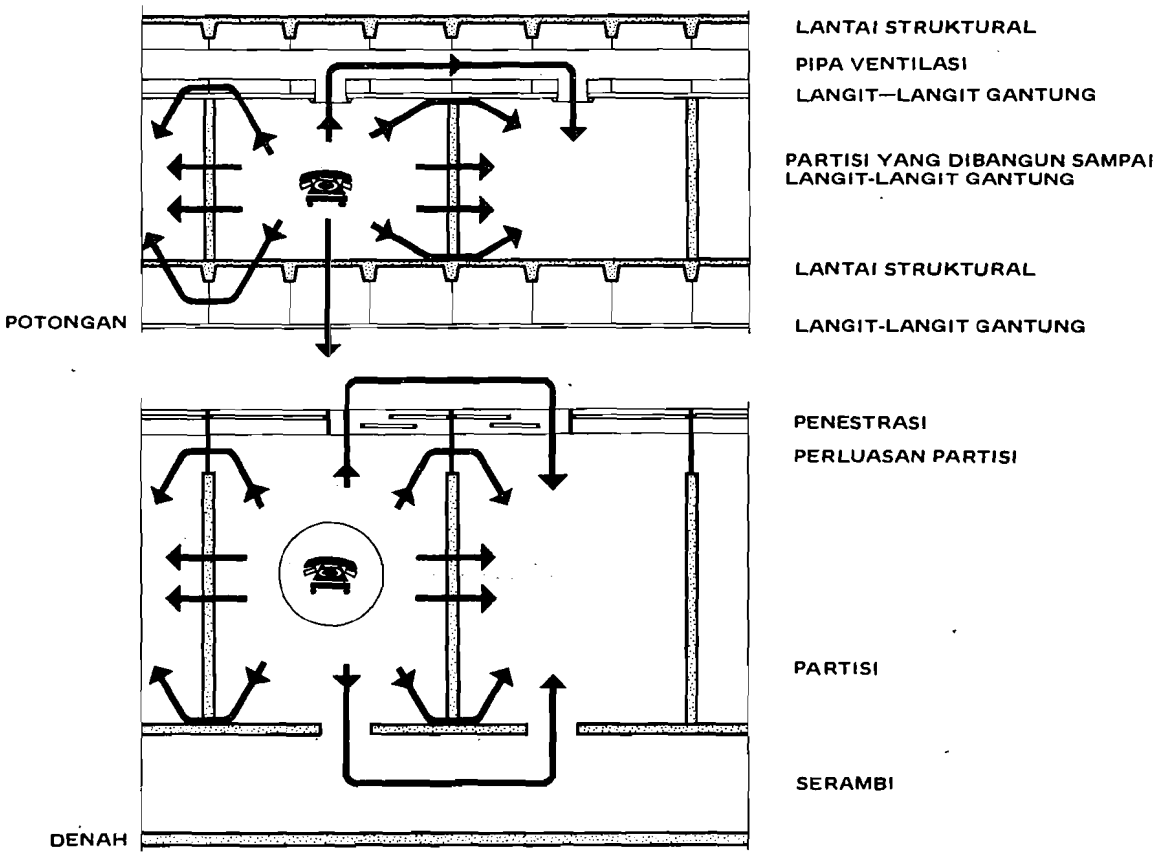
Transmisi bunyi di udara sangat berbeda dengan transmisi bunyi di bangunan. Bunyi di udara di atenuasi oleh penyerapan udara dan juga oleh permukaan-permukaan yang menghalangi (tembok, lantai, dan lain-lain), sehingga pengaruhnya sebagian besar terbatas di daerah dekat asal bunyi tersebut.

Dengan menggetarkan bagian-bagian padat kerangka bangunan, bunyi struktur sebenarnya memperluas daerah permukaan yang meradiasi bunyi, dengan demikian menambah radiasi tekanan bunyi. Kadang-kadang perluasan daerah permukaan radiasi bunyi berguna, bahkan diinginkan, seperti pada alat-alat musik cello, bas ganda, dan piano misalnya. Namun dalam banyak hal, gejala ini merusak. Suatu pipa pemanas yang bergetar atau pipa air saja dapat meradiasi hanya sejumlah kecil bunyi di udara, karena permukaannya yang terbatas, tetapi bila, sebagaimana biasanya, pipa ini dilekatkan dengan kuat pada dinding atau balok lantai, permukaan tambahan yang besar akan bergetar, sehingga banyak menambah bising yang diradiasi dan mentransmisi getaran melalui daerah-daerah yang sangat lebar.

Cara untuk menekan bising di udara (insulasi bising di udara) berbeda dengan metoda yang digunakan untuk menginsulasi bising struktur (insulasi bunyi struktur). Suatu permukaan batas yang mengadakan perlindungan yang baik terhadap suatu daerah dapat merupakan insulator yang jelek terhadap daerah yang lain. Karena itu adalah penting untuk menentukan apakah bising yang harus dikendalikan berasal dari bunyi di udara, dari bunyi struktur, atau dari gabungan keduanya.

1.3.5.1 Bising di Udara Bising di udara yang berasal dari ruang sumber dapat ditransmisikan ke ruang penerima dengan cara-cara sebagai berikut (Gambar 13.6): (1) sepanjang jejak udara yang sinambung lewat bukaan-bukaan, seperti pintu dan jendela yang terbuka, pipa ventilasi dan kisi-kisi, lubang-lubang udara, daerah yang berpusar (crawl spaces), celah dan retakan sekitar pintu, pipa kabel listrik, peralatan listrik dan elemen-elemen yang tertanam (built-in), dan (2) lewat getaran paksa yang diberikan pada permukaan batas (dinding, lantai, langit-langit) oleh sumber bunyi dan ditransmisi ke kepermukaan batas ruang penerima. Sebenarnya apa yang diterima pendengar dalam ruang penerima bukan bagian dari bunyi asli tetapi suatu reproduksi bunyi tersebut. Bila ruang sumber dan ruang penerima mempunyai bidang batas yang sama (dinding pemisah atau lantai), maka bunyi yang diradiasi kembali dapat menjadi sangat jelas kecuali bidang batas yang bersangkutan menyediakan cukup hambatan (resistance) pada getaran, yaitu massanya cukup besar.

13.5.2 Bising Struktur dan Getaran Karena telah ditransmisi dengan atenuasi sedikit dan melalui jarak yang luas dalam bangunan, bising struktur dan getaran harus ditekan pada sumber-



Gambar 13.6 Transmisi bising di udara dalam suatu gedung.

nya atau sedekat mungkin dengan sumber. Hal ini dapat dicapai (1) dengan menggunakan lantai berpegas/elastik (resilient) yang cukup (karpet, lantai karet, lantai gabus, dan lain-lain) untuk mereduksi transmisi benturan ke dalam lantai dan (2) dengan menggunakan bantalan yang lemas/fleksibel, bantalan anti getaran, lantai mengambang/floating floors (Bab 14), dan lain-lain, untuk mencegah transmisi getaran dan goncangan dari bermacam-macam mesin atau sumber-sumber luar ke dalam gedung.

13.6 Metoda Pengendalian Bising Lingkungan

Bermacam-macam cara dapat dilakukan untuk mengeliminasi atau mereduksi bising dengan efektif di dalam maupun di luar bangunan. Telah menjadi sangat jelas bahwa perjuangan melawan sejumlah bising yang merusak dan senantiasa bertambah hanya akan membawa hasil yang memuaskan bila semua orang yang berhubungan dengan perancangan dan penggunaan lingkungan baik di dalam maupun di luar, bekerja bersama-sama untuk mencapai sasaran tersebut.

Pengendalian bising dapat juga diperoleh lewat cara lain di luar perancangan, misalnya, lewat modifikasi tertentu dari sumber atau jejak perambatan atau dengan pengaturan kembali seluruh daerah bising dengan sebaik-baiknya. Usaha-usaha ini ada dalam tangan pengusaha-pengusaha pabrik, manajemen kantor, dan lain-lain.

13.6.1 Penekanan Bising di Sumbernya Tindakan pengendalian bising yang paling ekonomis adalah menekan bising tepat di sumbernya dengan memilih mesin-mesin dan peralatan yang relatif tenang dan dengan memakai proses-proses pabrik atau metoda kerja yang tidak menyebabkan tingkat bising yang mengganggu. Sebagai contoh, bising yang disebabkan bantingan pintu dapat dihindari dengan menggunakan penahan pintu karet-busa. Perubahan dari mengeling menjadi mengelas atau dari memalu menjadi penekanan hidrolik akan meniadakan be-

berapa bising yang paling kuat di pabrik. Kereta api bawah tanah di Montreal dan Paris bergerak dengan roda karet; ini menghilangkan banyak bising di sumber yang biasanya menyertai kereta bawah tanah.

Perawatan mesin-mesin dengan baik selalu merupakan praktek pengendalian bising yang baik karena komponen-komponen yang tidak sempurna, longgar dan bergetar selalu merupakan sumber bising. Kadang-kadang mesin yang sangat bising dapat ditutup dalam bangunan yang khusus dirancang bila mereka tidak dapat dibuat beroperasi dengan tenang. Sebuah penyungkup sekeliling unit yang mengganggu harus (1) mempunyai berat, (2) kedap udara, (3) dilapisi bahan penyerap bunyi.

Dalam rancangan dan produksi mesin ketik, pembersih vakum, motor, kipas, kompresor, ketel uap, dan lain-lain, pencapaian operasi yang relatif tidak bising merupakan salah satu sasaran yang dipersaingkan. Kendaraan yang dioperasikan secara elektrik meniadakan kebanyakan dari bising yang biasanya dihasilkan oleh mesin bakar.

Bising langkah kaki dapat direduksi dengan mudah di sumbernya dengan memasang lapisan lantai yang lembut seperti karpet, gabus, lantai karet, atau lantai vinyl.

Bunyi yang tak diinginkan juga dapat dihilangkan pada sumber melalui cara yang tidak teknis, misalnya dengan kesopanan dan menghargai orang lain. Acara yang disusun untuk konser di Royal Festival Hall, London, memuat paragraf pengantar sebagai berikut: "Selama suatu test yang baru-baru ini dilakukan dalam ruang ini, sebuah nada yang dimainkan mezzoforte pada terompet terukur mendekati bunyi 65 decibel. Sebuah batuk yang tak ditutup memberikan hasil yang sama. Kami memohon dengan hormat bahwa bila anda perlu batuk anda meredam bunyi tersebut dengan menempatkan sapu tangan di mulut anda". Cara ini nampaknya berhasil: hampir tak ada sebuah batuk pun terdengar selama konser baru-baru ini.

13.6.2 Perencanaan Kota Karena pertumbuhan transportasi darat dan udara yang cepat, bising telah menjadi suatu faktor lingkungan yang sangat penting di kota-kota, dan bukanlah sesuatu yang tak realistik untuk meramalkan bahwa daerah pedesaan pun, akan dipengaruhi dengan cara sama dalam masa yang akan datang yang tak lama lagi. Kecuali diundangkan atau tindakan pengendalian bising sengaja dilakukan, maka ada suatu kemungkinan yang menyedihkan, yaitu bahwa dalam sekitar satu dasawarsa ini, sebagian besar penduduk di daerah kota akan dipengaruhi tingkat bising yang mencapai batas yang dekat dengan keadaan yang tak tertahankan.

Berikut ini adalah jenis-jenis bising kota yang utama:

1. Bising lalu-lintas dan transportasi (mobil, truk, sepeda motor, kereta jalan, kereta api, mesin disel, kereta bawah tanah, pesawat air, pesawat udara, dan lain-lain).
2. Bising industri (pabrik, bengkel, proyek pembangunan/plant, menara pendingin, pengkondisi udara, dan lain-lain).
3. Bising yang dihasilkan manusia (olahraga dan kegiatan lainnya di luar, pertunjukan di udara terbuka, dan lain-lain).

Ada sejumlah cara pengendalian bising kota:

1. Dengan mengikuti cara-cara perencanaan kota dan penataan masyarakat dengan suatu pemikiran pengurangan bising dalam derajat yang diinginkan.
2. Dengan membentuk dan memaksakan peraturan penetapan wilayah (zoning) dan anti bising lewat hukum dan membatasi tingkat bising maksimum yang dibolehkan, terutama di daerah pemukiman.
3. Dengan mengharuskan pengusaha pabrik yang menggunakan peralatan mekanik dan elektrik yang bising untuk mencoba produksi mereka dan memberikan penilaian bising bagi mereka.
4. Dengan mendidik anggota pengurus (pembuat undang-undang, anggota dewan kota, karyawan, dan lain-lain) untuk mengamati dasar-dasar pengendalian bising.
5. Dengan mendorong masyarakat untuk melaporkan bising-bising yang tak dapat diterima lewat semua jalur komunikasi yang mungkin (dengan melapor pada polisi, menulis surat ke surat kabar, pejabat pelabuhan udara, pengelola aeronotika sipil/penerbangan sipil, lewat

himbauan pada stasiun radio dan televisi, dan lain-lain).

6. Dengan mendidik masyarakat untuk sadar bahwa sejumlah sumber bising yang dapat menyebabkan gangguan dan tekanan yang hebat dapat ditiadakan dengan perencanaan dan peramalan yang teliti dan secara manusiawi dengan sopan dan menghargai.

Pejabat-pejabat perencana kota dan masyarakat saat ini harus meneliti dasar-dasar berikut ini:

1. Perhatian yang benar harus diberikan pada kenyataan dasar bahwa penentuan jarak yang cukup antara sumber bunyi dan penerima merupakan tindakan pengendalian bising yang paling efisien.

2. Daerah pemukiman dan daerah khusus yang membutuhkan ketenangan, seperti wilayah rumah sakit, harus dipisahkan dari jalan raya untuk kendaraan cepat (expressway), jalan raya (highways), jalan utama, jalan kereta api, tempat bermain, daerah industri dan perdagangan, dan pelabuhan udara. Pemisahan yang diinginkan antara wilayah industri, perdagangan, perbelanjaan dan pemukiman harus dipelajari.

3. Denah urat nadi lalu lintas yang jelas harus dibentuk dan diputar mengelilingi, dan tidak dilewatkan daerah-daerah yang tenang (daerah pemukiman, sekolah, gereja, rumah sakit, dan lain-lain).

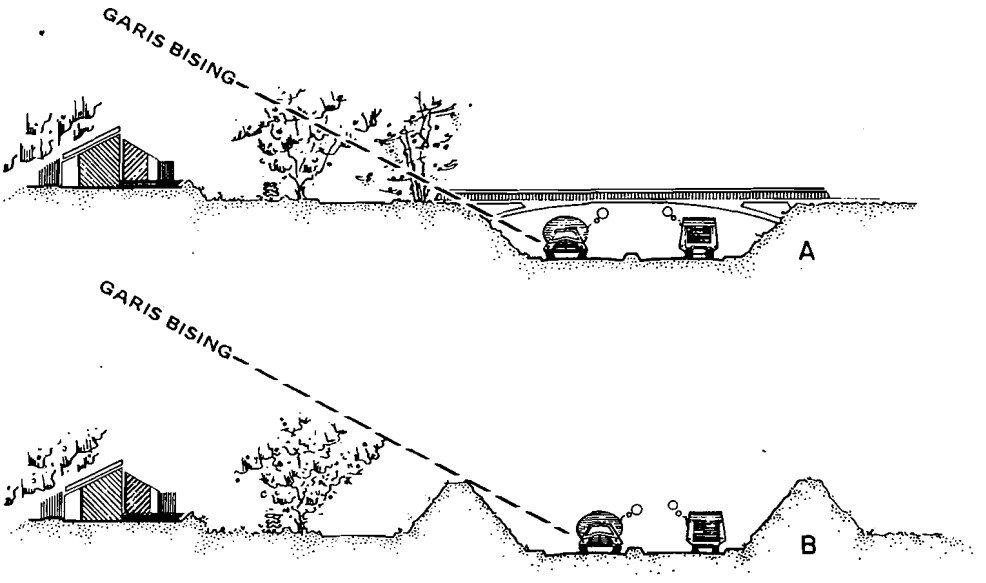
4. Penggunaan jalur hijau pelindung dan pertamanan harus dibuat sebanyak mungkin untuk berlindung terhadap bising industri, perdagangan dan jalan raya yang padat karena halaman rumput yang banyak menyebabkan penyerapan bunyi yang hampir sama dengan karpet berkualitas tinggi dan karena pohon-pohon, walaupun kurang menyerap, bertindak sebagai elemen-elemen penyebar dan cenderung memperbanyak penyerapan oleh tanah pertamanan sekitar mereka. Hanya semak-semak yang padat dan banyak daunnya dan pohon-pohon yang tinggi atau pohon-pohon yang selalu berdaun hijau (untuk perlindungan di musim dingin) yang ditanam meliputi daerah yang luas akan menghasilkan reduksi bising yang berarti.

5. Survai bising harus dilakukan di tiap kota besar untuk menetapkan tingkat bising yang obyektif (tidak berat sebelah), terutama di daerah pusat kota dengan memperhatikan tempat, waktu dan jenis sumber bising; untuk memeriksa berbagai pengaruh bising pada penduduk yang hidup dalam daerah yang bersangkutan; dan untuk menyediakan suatu dasar yang dapat diandalkan bagi insulasi bunyi yang dibutuhkan bagi bangunan-bangunan yang peka terhadap bising.

Dalam rancangan jala-jala jalan, elemen-elemen yang mengambil bagian dalam bising lalu lintas harus dihindari sebanyak mungkin, misalnya, jalur lalu-lintas yang miring, persimpangan yang datar, lampu lalu-lintas, jalur lalu-lintas yang sempit, daerah parkir, urat nadi lalu-lintas dengan gedung-gedung yang dibangun sepanjang kedua sisi jalan atau dengan bangunan-bangunan yang terlampau dekat ke jalan.

Jalur lalu-lintas dan jalan kereta api yang melewati daerah yang peka terhadap bising harus dilindungi dengan bukit, pengedukan tanah (cuttings) atau tanggul sepanjang tepi jalur dan harus ditempatkan sejauh mungkin dari daerah yang berpenduduk (Gambar 13.7). Tanggul sepanjang sisi yang menghadap jalan raya harus semiring mungkin. Jala-jala jalan raya harus direncanakan untuk memungkinkan koordinasinya dengan daerah pemukiman baru bila kebutuhan itu timbul dan dengan kemungkinan pengembangan di masa yang akan datang sehingga jalur-jalur yang baru dapat ditambahkan pada jalan raya tersebut bila keadaan membutuhkan. Jalan-jalan di daerah pemukiman tidak boleh menjadi jalan pintas bagi lalu-lintas yang bising. Kereta api harus memasuki pusat kota metropolitan yang besar lewat jalur bawah tanah.

Suatu permukaan pemantul bunyi yang luas, misalnya permukaan luar yang keras dari bangunan dekat sumber lalu-lintas yang bising, akan menambah tingkat bising dengan sekitar 3 dB A dekat dengan permukaan pemantul bunyi. Permukaan-permukaan gedung yang tak terputus pada kedua sisi jalan akan menambah tingkat bising lalu-lintas dengan sekitar 4 sampai 10 dB A, tanpa tergantung pada tinggi bangunan. Celah pada kontinuitas permukaan-permukaan gedung tidak akan banyak mempengaruhi tingkat bising yang ada di jalan. Balkon atau teras (pada bangunan) yang menghadap lalu-lintas yang bising akan memantulkan bising jalan ke



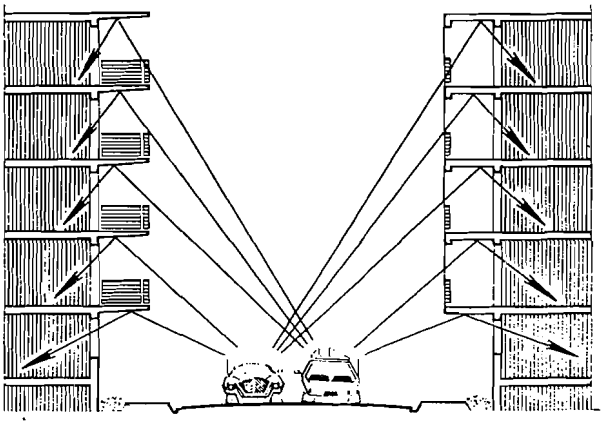
Gambar 13.7 Penggunaan pengedukan tanah (A) atau tanggul lansekap (B) sepanjang kedua sisi jalur lalu-lintas dan pengadaan jarak yang cukup antara jalan raya dan daerah yang berpenduduk adalah langkah-langkah penting melawan bising lalu-lintas.

dalam ruang-ruang di bawahnya lewat pintu-pintu dan jendela terbuka (Gambar 13.8).

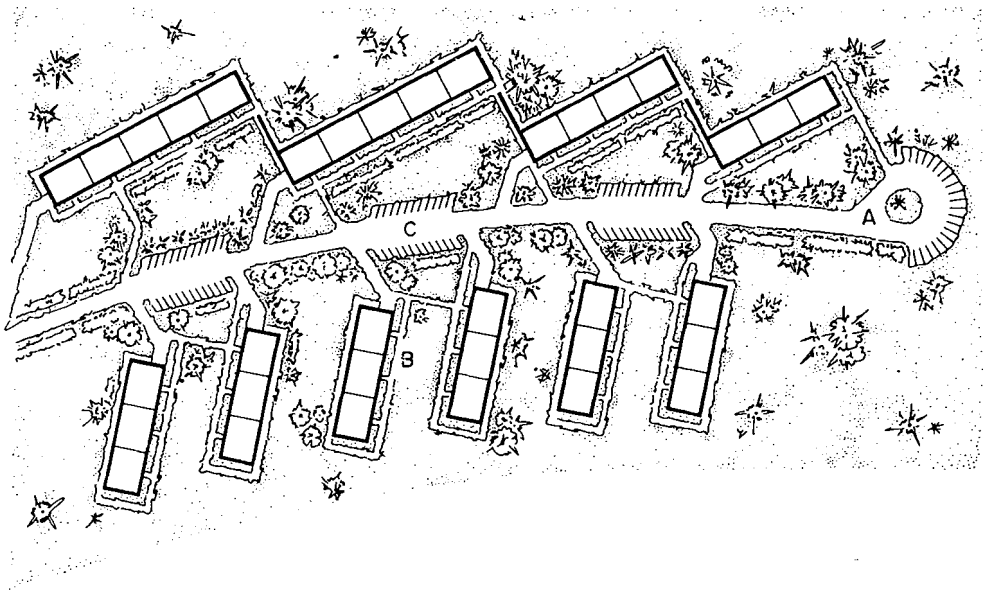
Sementara blok-blok bangunan yang linier didirikan tegaklurus pada jalur jalan mereduksi pemantulan bising sepanjang jalan, mereka juga memungkinkan penembusan dan penyebaran bising lalu-lintas lebih dalam ke daerah-daerah yang dibangun.

Bangunan-bangunan yang sangat rentan (susceptible) terhadap gangguan bising (toko-toko, garasi) dapat digunakan sebagai tameng (baffle) antara jalan yang bising dan daerah yang membutuhkan ketenangan. Namun bangunan-bangunan yang digunakan sebagai tameng, tidak boleh menjadi sumber bising. Jalan-jalan pemukiman harus diatur sedemikian hingga penduduk lingkungan itu tidak tanpa perlu (unnecessarily) dipengaruhi oleh bising lalu-lintas. Gambar 13.9 menunjukkan pengaturan jalan yang baik di pemukiman yang tenang dengan jalur pejalan yang terpisah dan tempat parkir yang terpusat di luar.

Rancangan petak pertokoan (shopping malls) di pusat kota yang cocok, dengan lalu-lintas kendaraan dilarang ke petak (kecuali untuk pengiriman barang selama jam-jam tertentu dalam satu hari) merupakan langkah positif sehubungan dengan pengendalian bising lingkungan.

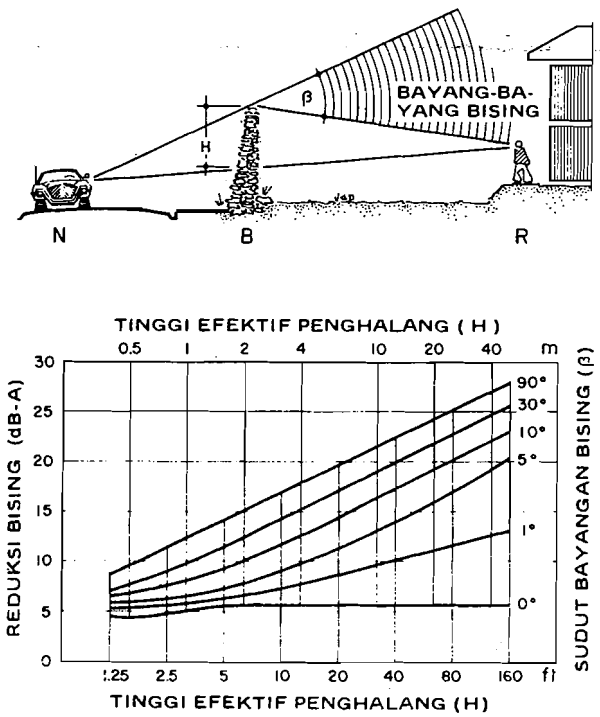


Gambar 13.8 Sisi bawah balkon atau teras yang menghadap lalu-lintas yang bising memantulkan bising lalu-lintas ke dalam ruang-ruang di bawahnya lewat pintu dan jendela terbuka.



Gambar 13.9 Denah jalan di daerah pemukiman yang sunyi dengan (A) bundaran di ujung jalan, (B) jalur pejalan yang menuju ke gedung-gedung, dan (C) tempat parkir yang dipusatkan di luar.

Penghalang atau rintangan (pagar) yang tak terputus, padat dan tak berlubang antara sumber bising dan penerima akan mereduksi bising tergantung pada sudut bayangan bising β dan tinggi efektif penghalang H di atas garis yang menghubungkan sumber bising dengan penerima (Gambar 13.10). Reduksi bising akan bertambah dengan bertambahnya sudut bayang-bayang bising dan tinggi penghalang. Penghalang yang rendah sepanjang jalur lalu-lintas hanya akan mengadakan reduksi bising yang dapat diabaikan di daerah di belakang penghalang. Supaya penghalang efektif secara akustik, maka ia harus dekat pada sumber bising atau pada penerima yang harus dilindungi terhadap bising. Reduksi bising oleh penghalang bertambah dengan frekuensi. Penghalang yang sempurna sekeliling jalur yang bising jelas adalah suatu



Gambar 13.10 Reduksi bising oleh penghalang yang ditempatkan antara sumber bising dan penerima: N, sumber bising; B, penghalang; R, penerima.

terowongan, yang selanjutnya membutuhkan lapisan penyerapan bunyi interior agar mencegah pembentukan bising lalu-lintas yang berlebihan di dalam.

Bising lalu-lintas berkurang dengan jarak, derajat atenuasi tergantung pada jenis permukaan jalan atau tanah di atas mana bising merambat. Dengan menggandakan jarak, bising akan berkurang di atas permukaan yang keras atau di ruang bebas dengan sekitar 3 dB, di atas tanah berumput dan bertaman dengan sekitar 5 sampai 6 dB. Semak-semak dan deretan pohon-pohon pada dasarnya tidak mengurangi bising pada frekuensi-frekuensi rendah dan mereduksi frekuensi-frekuensi tinggi hanya sekitar 1 sampai 2 dB. Bising lalu-lintas lebih mudah menyebar dalam arah angin daripada melawan angin.

Perubahan yang tak beraturan dan tak diharapkan pada bising lalu-lintas karena perhentian yang tiba-tiba dalam arus lalu-lintas yang teratur (disebabkan oleh tanda-tanda berhenti, lampu lalu-lintas, persimpangan, dan lain-lain) selalu lebih mengganggu daripada dalam lalu-lintas kontinu yang kurang lebih serba sama. Karena itu, persimpangan dan persilangan harus diatur dengan jari-jari kelengkungan yang besar dan dengan jalur yang bergabung, supaya mereka dapat dijalani dengan kecepatan normal, jadi mereduksi berkendaraan dan berhenti pada gigi (gear) rendah. Jalan-jalan di daerah pemukiman atau dekat dengan gedung-gedung yang peka terhadap bising (sekolah, rumah sakit, gereja, dan lain-lain) harus diatur agar tidak menyebabkan orang berkeinginan berkendaraan cepat.

Karena tingkat bising yang diukur pada satu sisi jalan berubah dari waktu ke waktu atau bahkan dari saat ke saat, maka umumnya penggunaannya terbatas untuk membentuk tingkat bising "rata-rata" dengan mengambil tingkat pembacaan tingkat bising untuk beberapa menit dengan meter tingkat bunyi. Pengukuran perlu dilakukan untuk perioda waktu yang lebih lama, misalnya, untuk 8 atau 24 jam, dan untuk membentuk nilai-nilai yang dilampaui untuk prosentase waktu tertentu. Telah ditemukan bahwa *tingkat 10 persen* dan *tingkat 90 persen* masing-masing memberikan penilaian tingkat puncak dan tingkat bising latar belakang yang dapat diandalkan. Sebagai contoh, bila *tingkat 10 persen* pada suatu lokasi adalah 80 dB-A, ini berarti bahwa tingkat ini dilampaui hanya untuk 10 persen dari waktu. Bila *tingkat 90 persen* adalah 40 dB-A, ini berarti bahwa tingkat bising melampaui nilai untuk 90 persen dari waktu; yaitu, tingkat bising berada di bawah nilai 40 dB A hanya untuk 10 persen waktu. Nilai tingkat 10 persen dan tingkat 90 persen menyediakan variasi karakteristik, yang terjadi antara tempat-tempat dan kondisi lalu-lintas yang berbeda.

Untuk jenis bangunan tertentu (kantor, sekolah, gereja, dan lain-lain) pengukuran tingkat bising eksterior hanya dibutuhkan pada siang hari. Untuk bangunan-bangunan lain (rumah sakit, pemukiman, dan lain-lain), data-data untuk tingkat bising malam hari juga dibutuhkan.

Bermacam-macam peraturan untuk bising kendaraan bermotor yang dikeluarkan negara atau pejabat kotapraja menentukan tingkat bising maksimum yang sah untuk kendaraan penumpang sekitar 82 sampai 90 dB A, yang diukur sekitar 30 sampai 50 ft (9 sampai 15 m) dari kendaraan, dan sekitar 90 sampai 95 dB A yang diukur sekitar 5 sampai 30 ft (1,5 sampai 9 m) dari kendaraan. Untuk truk tingkat bising yang dibolehkan adalah sekitar 5 dB lebih besar. Tingkat 85 dB adalah nilai di mana derajat kehilangan pendengaran tertentu dapat terjadi bila seseorang dipengaruhi tingkat bising ini selama beberapa tahun, untuk 8 jam per hari. Ini dialami oleh pengemudi truk. Suatu undang-undang yang membatasi penggunaan klakson harus juga merupakan salah satu langkah yang diambil untuk mengatasi bising kendaraan.

Bising mengkhawatirkan yang ditimbulkan oleh sepeda motor biasanya lebih tinggi daripada kendaraan penumpang. Apa pun yang diundangkan untuk mengendalikan bising kendaraan bermotor tidak boleh mengabaikan bising yang sangat tak diinginkan yang disebabkan oleh sepeda motor.

Untuk menilai dan mengevaluasi bising lalu-lintas sedemikian hingga suatu hubungan dapat dibuat antara tingkat bising dan reaksi keseluruhan (ketidakpuasan) dari orang-orang, bermacam-macam kriteria bising lalu-lintas baru telah dikembangkan, misalnya *indeks bising lalu-lintas* = traffic noise index (TNI) dan *tingkat bising ekuivalen* = equivalent noise level (ENL). TNI ikut memperhitungkan (1) tingkat intensitas dan karakteristik bising, (2) pengaruhnya pada manusia dan gangguan sosial yang dihasilkannya, dan (3) perbedaan yang besar

dalam derajat toleransi manusia terhadap bising. Perbedaan individual dalam respons terhadap bising lalu-lintas biasanya ditunjukkan oleh bermacam-macam reaksi. Sebagai contoh, jendela-jendela tertutup bila ada tamu atau pada waktu makan, untuk melihat televisi atau mendengar radio atau musik, atau pada waktu anak-anak harus tidur dan lain-lain. Untuk semua reaksi ini harga-harga tertentu diberikan dan digabungkan dalam TNI.

Bising lalu-lintas di suatu titik dapat direduksi dengan:

1. Mereduksi kecepatan kendaraan.
2. Mereduksi jumlah perhentian sepanjang jalan.
3. Membatasi tenggang waktu di mana kendaraan menimbulkan bising.
4. Mereduksi jumlah kendaraan.

Dalam perencanaan kota pertimbangan tertentu harus diberikan pada pengendalian bising pesawat udara. Beberapa masalah yang dihadapi perencana hanya dapat diatasi dengan kerja-sama internasional:

1. Usaha yang tak henti-hentinya harus dibuat untuk mengembangkan dan membangun komponen-komponen yang lebih tenang untuk mesin-mesin pesawat terbang, walaupun ini menghasilkan ukuran mesin yang lebih besar, mengurangi efisiensi dan menambah biaya operasi.

2. Pelabuhan udara baru, yang sudah lama dinanti-nantikan oleh beberapa kota, harus ditempatkan dan dikembangkan sedemikian hingga mereka tidak mempengaruhi privacy daerah pemukiman di dekatnya atau daerah-daerah lain yang peka terhadap bising. Perencana lokal harus menasehati pejabat-pejabat pelabuhan udara dengan pandangan untuk mengatur pengembangan jalur landasan kapal terbang, pemeliharaan, dan fasilitas-fasilitas percobaan di masa yang akan datang.

3. Pemilik-pemilik tanah yang terlampau dekat dengan pelabuhan udara, dan dengan demikian dihadapkan pada derajat bising pesawat udara yang tinggi, harus dibantu agar memungkinkan mereka memperbaiki insulasi bunyi tanah-tanah mereka atau pindah ke tempat lain bila mungkin.

4. Teknik-teknik baru dalam prosedur penerbangan (tinggal landas dan mendarat) harus terus membantu pengurangan gangguan yang diciptakan bising pesawat udara. Namun, persyaratan ini, tidak boleh membahayakan keamanan penerbangan. Ini termasuk perbaikan fasilitas di darat dan instrumentasi pesawat udara.

5. Metoda untuk menentukan tingkat bising pesawat udara yang diperbolehkan di daerah yang berpenduduk dan menilai kompliansi dengan aturan-aturan bising yang dapat diterima harus disetujui secara internasional. Penerbangan yang dijadwal selama malam hari harus dibatasi dengan ketat atau dilarang, tergantung pada jarak antara pelabuhan udara dan daerah berpenduduk yang terdekat.

6. Karena sejumlah besar penduduk tinggal dekat dengan pelabuhan udara, persyaratan insulasi bunyi bangunan-bangunan baru disekitarnya harus ditetapkan dengan cara yang sangat profesional dan benar-benar dipaksakan oleh pejabat-pejabat pemerintah yang bersangkutan dengan perhatian tertentu pada pengembangan pelabuhan udara di masa yang akan datang.

7. Fasilitas pemeliharaan dan percobaan untuk pesawat udara harus ditempatkan dan dioperasikan sedemikian hingga bising yang diciptakan tidak mengganggu sekitarnya.

Perencanaan kota dan masyarakat dan implementasinya lewat pemaksaan yang ketat dari anggaran rumah tangga dan aturan zoning (tata wilayah) akan melindungi penghuni dari penembusan bising pada privacy mereka, melindungi masyarakat terhadap kerugian nilai tanah dan pajak penghasilan, dan melindungi pembuat bising dari penuntutan hukum (lawsuit) dan pengeluaran selanjutnya untuk pengendalian bising.

13.6.3 **Perencanaan Tempat (Site Planning)** Pengalaman menunjukkan bahwa sekali suatu sumber bising di luar ada di suatu daerah, maka sulit untuk menghilangkannya. Karena itu adalah penting bahwa gedung-gedung yang membutuhkan lingkungan bunyi yang tenang (sekolah, rumah sakit, lembaga penelitian, dan lain-lain) diletakkan pada tempat-tempat yang tenang, jauh dari jalan raya, daerah industri, dan bandar udara.

Bila memungkinkan, maka dianjurkan untuk menempatkan suatu gedung membelakangi (back from) jalan untuk memanfaatkan pengaruh reduksi bising karena jarak yang bertambah antara jalur jalan dan deretan bangunan. Bila jarak yang cukup antara bangunan dengan lalu lintas yang bising tak dapat disediakan, maka ruang-ruang yang tidak membutuhkan jendela atau tembok ruang yang dapat dihuni (habitable) tanpa jendela harus menghadap jalan yang bising.

Gedung-gedung yang tidak mudah dapat menerima bising dapat digunakan sebagai penahan bising (noise baffles) dan dapat diletakkan antara sumber bising dan daerah-daerah yang membutuhkan ketenangan. Tempat parkir harus dikumpulkan di bagian yang tersembunyi (secluded) dari tempat tersebut. Jalan-jalan pemukiman harus dibangun dengan loop pada ujungnya untuk memungkinkan membelok tanpa membalik (Gambar 13.9).

Blok-blok bangunan linier harus dibangun dengan ujungnya menghadap jalan yang bising dan suatu usaha harus dibuat untuk menghindari penembusan bising lalu lintas ke dalam daerah antara blok-blok itu.

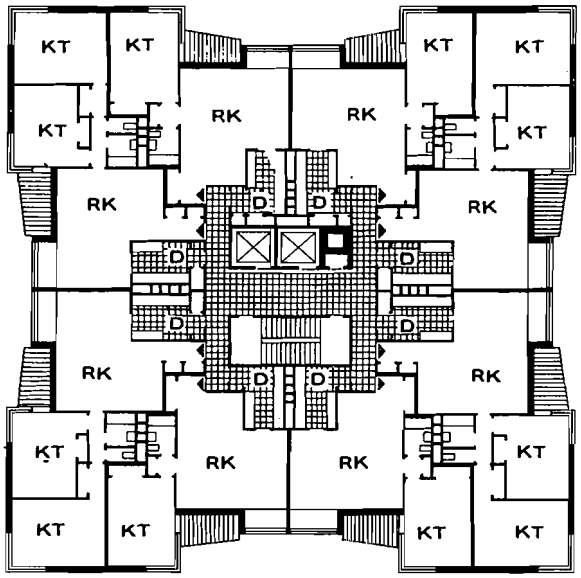
13.6.4 Rancangan Arsitektur Rancangan arsitektur yang baik dengan memperhatikan kebutuhan akan pengendalian bunyi adalah pendekatan yang paling ekonomis dalam mengendalikan bising yang efektif dalam bangunan.

Ruang-ruang di mana daripadanya diharapkan ada bising harus diisolasi secara horisontal dan vertikal dari bagian-bagian gedung yang paling sukar mentolerir bising, atau ruang bising itu harus ditempatkan di daerah-daerah (site) yang dipengaruhi oleh bising lain (interior atau eksterior). Sebaliknya, ruang yang membutuhkan ketenangan harus ditempatkan di bagian tenang dari site atau sisi bangunan. Sebagai contoh, auditorium jangan ditempatkan berdampingan dengan ruang dengan peralatan mekanik. Kamar-kamar tidur di rumah sakit jangan dihadapkan ke tempat parkir atau tempat bongkar muat barang.

Ruang-ruang (atau bangunan) yang tidak terlampau dapat menerima bising harus ditempatkan sedemikian hingga mereka berfungsi sebagai penutup atau penghalang antara daerah yang bising dan daerah yang tenang. Kepatuhan-kepatuhan (adherence) pada prinsip untuk memisahkan ruang yang bising dari ruang yang tenang pada tahap perencanaan akan mereduksi kebutuhan bahan bangunan atau sistem penginsulasi bunyi sampai suatu minimum, sehingga mengurangi biaya bangunan.

Dalam rancangan akustik bangunan-bangunan pemukiman, ruang-ruang harus dikelompokkan menjadi kelompok tenang dan kelompok bising. Kelompok tenang dari bangunan adalah ruang yang dapat dihuni, pertama ruang tidur dan ruang belajar, dan kedua ruang keluarga. Kelompok bising terdiri dari dapur, kamar mandi, ruang utility, tangga, ruang elevator, ruang ketel uap, ruang kipas dan lain-lain. Dalam bangunan rumah tinggal yang ingin dikendalikan bunyinya, aturan rancangan umum berikut ini harus diperhatikan (Gambar 13.11).

1. Bagian-bagian tenang dan bising harus dikelompokkan dan dipisahkan satu terhadap yang lain secara horisontal dan vertikal lewat tembok dan lantai yang cukup menginsulasi bunyi (Bab 14) atau oleh ruang-ruang yang tak terlampau rentan (susceptible) terhadap bising, seperti jalan masuk, serambi, tangga, dan lemari.
2. Ruang keluarga dalam suatu apartemen tidak boleh berdampingan dengan ruang tidur apartemen lain. Ruang tidur dan ruang-ruang keluarga dalam pasangan horisontal dan vertikal unit tempat tinggal harus berdampingan dan satu di atas yang lain. Bila denah ini tak baik, konstruksi tembok atau lantai yang memisahkan unit tempat tinggal ini harus menyediakan insulasi bunyi yang lebih banyak.
3. Ruang-ruang tidur harus diletakkan di tempat dari bangunan yang relatif tenang dan tidak boleh berdampingan dengan ruang elevator atau ruang-ruang mekanik atau menghadap (overlook) jalur lalu-lintas atau jalan raya.
4. Kamar mandi harus dipisahkan dengan efisien secara akustik dari ruang keluarga dan tidak boleh dirancang di atas ruang keluarga atau ruang tidur, baik dari rumah yang sama atau yang berbeda. Alat-alat kamar mandi tidak boleh dipasang sepanjang tembok yang memisahkan ruang keluarga dan kamar mandi.



Keterangan:
KT = Kamar Tidur
RK = Ruang Keluarga
D = Dapur

DENAH

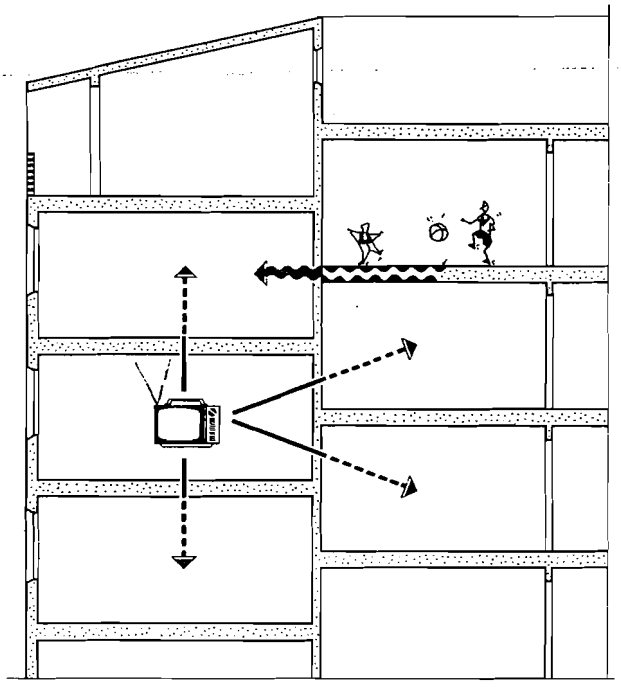
Gambar 13.11 Denah bangunan apartemen yang secara akustik cukup baik.

5. Pintu-pintu yang menuju ruang tidur dan kamar mandi harus mempunyai insulasi bunyi yang cukup. Mereka harus mempunyai panel dengan inti padat (solid-core panel) dan direkat (gasketed) seluruhnya.

6. Tangga tak boleh berdampingan dengan ruang tidur. Pijakan (treads) suatu tangga harus ditutupi dengan bahan lunak untuk menghindari bising langkah-langkah kaki.

7. Barisan balkon yang tak terputus sepanjang dinding luar bangunan harus dihindari. Teras harus diundur (recessed) ke dalam bangunan pada jarak yang cukup satu terhadap yang lain.

8. Denah apartemen yang selang seling secara vertikal harus dihindari (Gambar 13.12), karena bising dari sumber tunggal dapat menembus beberapa unit tempat tinggal pada waktu yang sama. Juga, tembok yang sama antara unit tempat tinggal selang-seling secara vertikal



POTONGAN

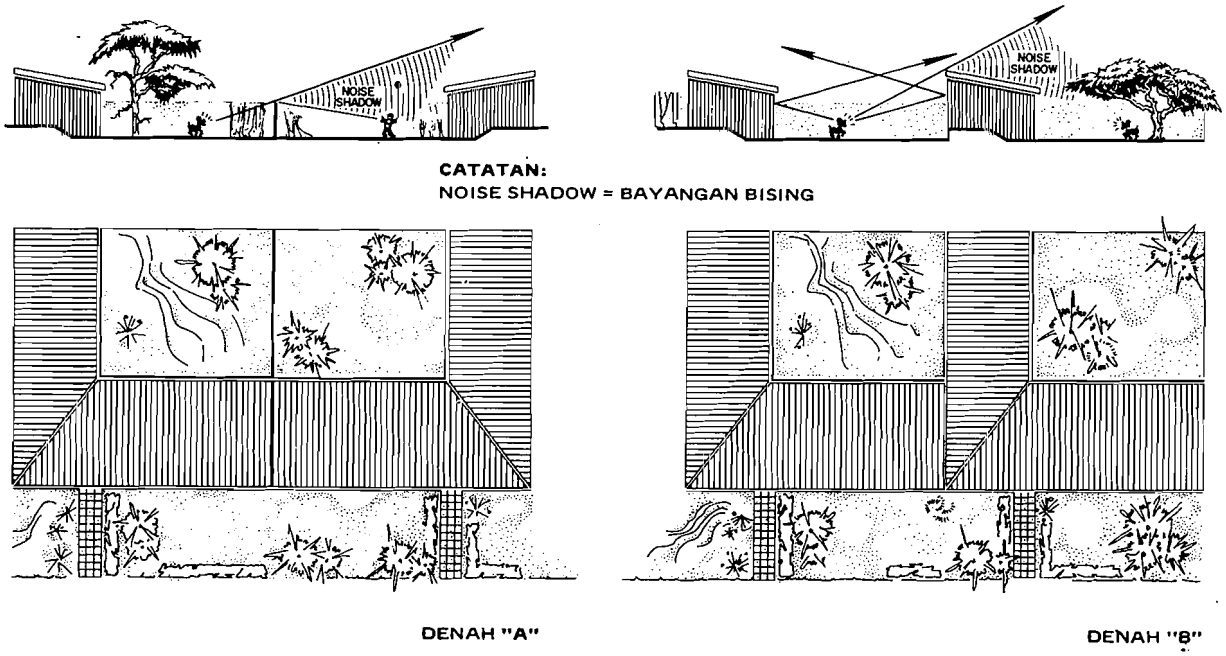
Gambar 13.12 Bangunan tempat tinggal dengan pengaturan selang-seling dalam arah vertikal memperbesar kemungkinan transmisi bising antara unit-unit tempat tinggal.

mentransmisi bising langkah kaki lebih mudah ke dalam unit yang berdampingan daripada lantai saja.

9. Jendela harus diatur supaya suara pembicaraan dari satu apartemen ke apartemen lain menjadi minimum.

Suatu rancangan yang tidak memperhatikan persyaratan di atas tetapi tokh diinginkan agar menghasilkan bangunan yang tahan bunyi (sound proof) harus menggunakan dinding dan lantai penginsulasi bunyi yang mahal.

Rumah dengan emper terbuka di belakang dan rumah dengan halaman yang dikelilingi dinding menyediakan derajat privacy akustik yang lebih tinggi daripada rumah keluarga tunggal yang terpisah/single family detached house. (Gambar 13.13).

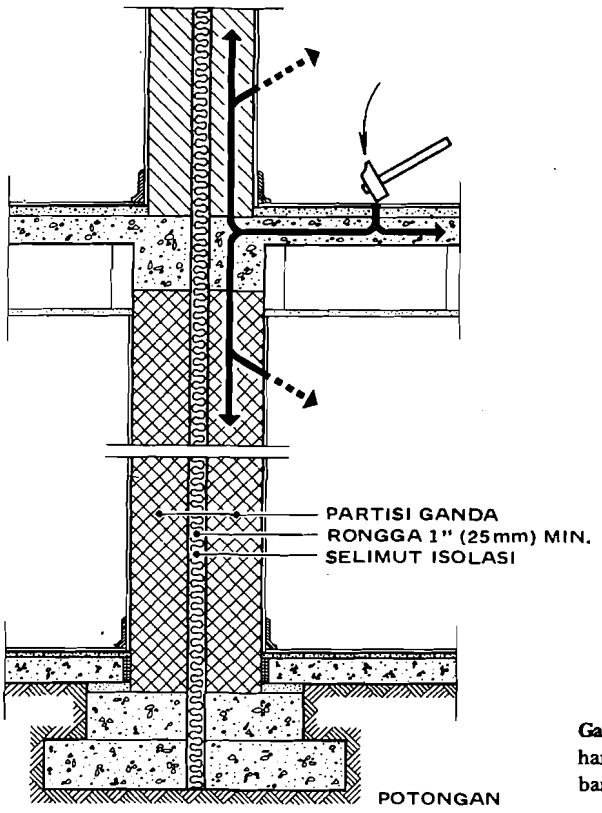


Gambar 13.13 Rumah dengan halaman yang dikelilingi dinding menyediakan derajat privacy akustik yang relatif tinggi.

13.6.5 Rancangan Struktural/Bangunan Teknisi bangunan sering harus menggabungkan langkah-langkah pengendalian bising bangunan dalam gambar bangunan. Karena insulasi bunyi lantai atau dinding tergantung terutama pada tebal struktur, maka kapasitas daya tahan ataupun kekuatan bahan tidak boleh dianggap sebagai kriteria satu-satunya dalam menentukan ukuran bangunan. Suatu balok lantai beton pratekan dengan tebal 2 sampai 4 in (50 sampai 100 mm) misalnya, memenuhi persyaratan bangunan tetapi tidak cukup sebagai pemisah horisontal antara tiap dua kamar, terutama bila tak ada langit-langit gantung ditambahkan pada konstruksi lantai.

Konstruksi lantai ringan (siap pakai dan pratekan) sepenuhnya aman bagi beban yang hidup dan mati yang biasanya ada, tetapi peralatan yang menghasilkan getaran yang dipasang pada lantai menambah kemungkinan resonansi antara peralatan dan balok lantai ringan yang menunjangnya. Resonansi semacam itu menyebabkan transmisi bising dan getaran yang bertambah lewat lantai, walaupun kenyataan bahwa teknisi mekanik menetapkan bantalan tahan getaran di bawah peralatan mekanik. Di samping itu, bila peralatan ditempatkan di pusat rentang (span), dan bukan dekat kolom penyangga atau tembok, probabilitas resonansi makin bertambah.

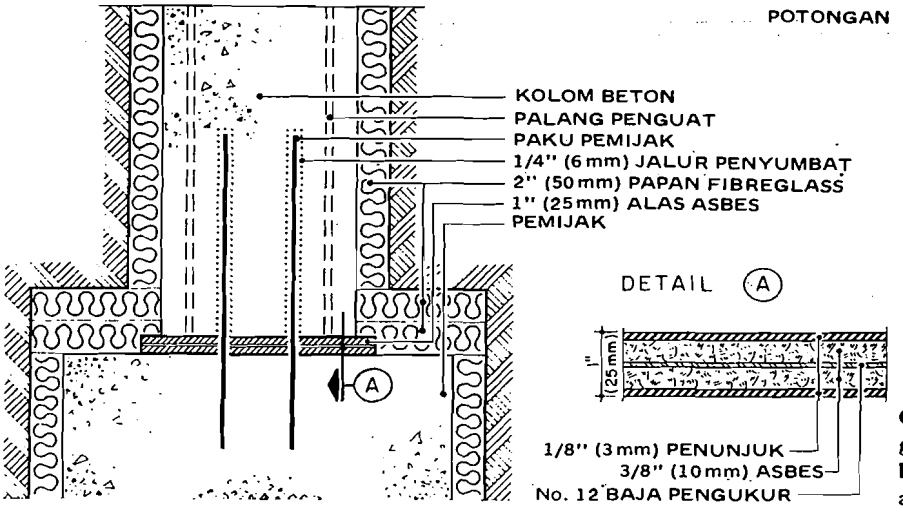
Tembok pemisah antara barisan rumah-rumah harus terdiri dari dua lapisan terpisah, dan dibangun dari dasar bangunan sampai atap (Gambar 13.14), untuk menghindari transmisi bising impak (langkah kaki) dari satu unit tempat tinggal ke unit yang berdampingan. Penggunaan selimut isolasi inorganik dalam celah vertikal, paling sedikit selebar 1 in (25 mm) ada-



Gambar 13.14 Tembok pemisah antara barisan rumah-rumah harus terdiri dari dua lapisan terpisah, dan dibangun dari dasar bangunan sampai atap.

lah penting, sehingga gumpalan-gumpalan adukan semen yang berlebihan tidak jatuh di antara lapisan yang terpisah dan merusak efisiensi akustik rancangan ini.

Bila bangunan harus diisolasi terhadap getaran yang berasal dari rel kereta api yang berdekatan, jalan bawah tanah, stasiun kereta api bawah tanah, atau jalan raya, bantalan asbestos-timah anti getaran sering digunakan, dan membutuhkan integrasi yang hati-hati dengan fondasi bangunan (Gambar 13.15).



Gambar 13.15 Fondasi tahan getaran yang menggunakan bantalan anti-getaran lead-asbestos.

13.6.6 Rancangan Mekanik dan Elektrik Peralatan dan instalasi yang biasanya ditetapkan oleh teknisi mekanik dan listrik dapat merupakan sumber bising yang serius. Bahaya yang ditimbulkan bising banyak dikurangi bila perhatian diberikan pada rekomendasi-rekomendasi berikut ini:

1. Dalam pemilihan sistem dan peralatan pemanas, ventilasi atau pengkondisi udara yang sesuai, pilihan pertama jelas harus diberikan pada sistem, peralatan dan perlengkapan tetap (fixtures) yang beroperasi dengan tenang.

2. Peralatan mekanik yang menghasilkan bising dan getaran (kipas angin, motor dan lain-lain) harus ditempatkan di ruang bawah tanah bila mungkin, di mana ruang peralatan tersebut dengan mudah dapat dikelilingi dengan struktur tahan beban yang mempunyai derajat insulasi yang tinggi terhadap bising dan getaran.

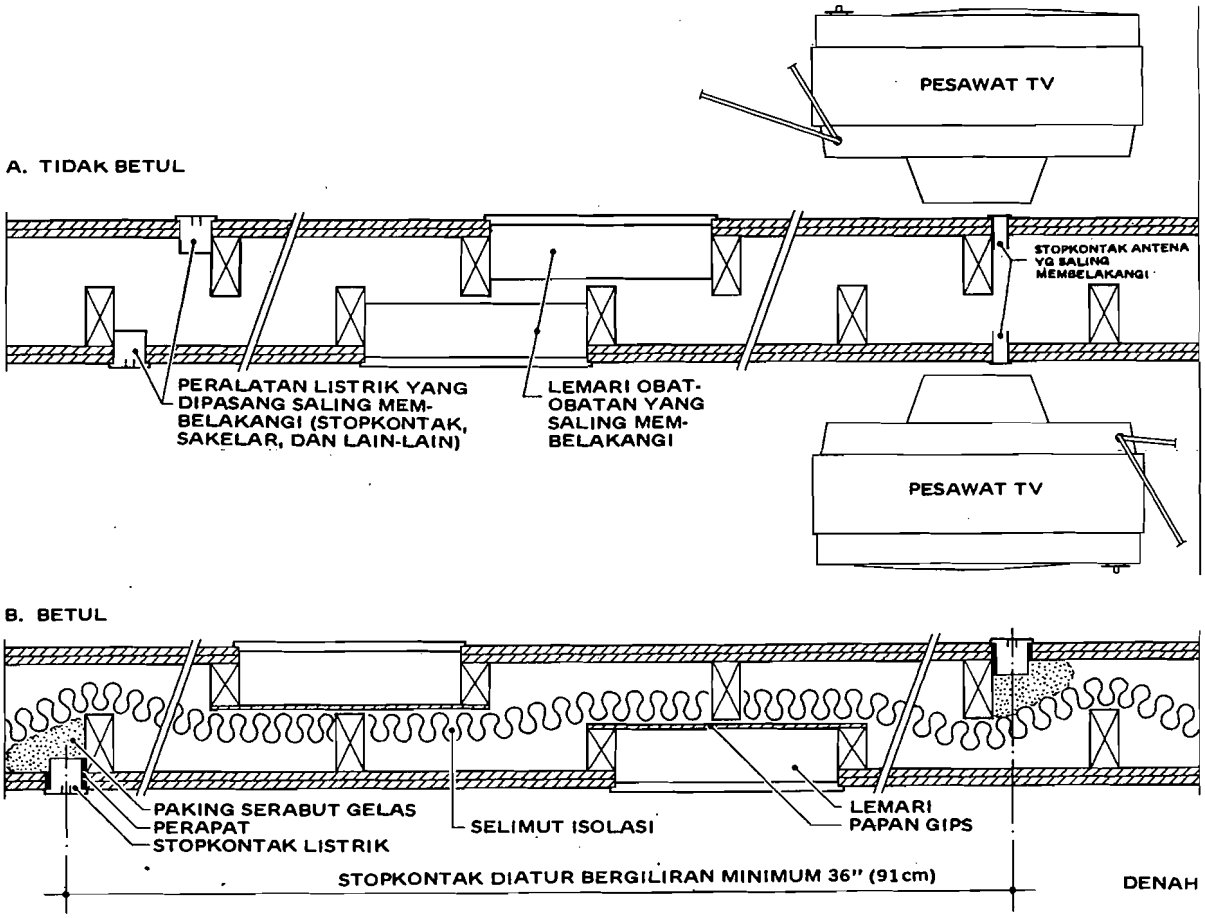
3. Pipa-pipa, saluran ventilasi, kepingan pemanas sepanjang tembok dan lain-lain, harus dirancang dan dipasang sedemikian hingga mereka tidak menghubung-pendekkan (short-circuit) tembok dan lantai penginsulasi bunyi.

4. Perlengkapan tetap yang dipasang saling membelakangi pada tembok pemisah (lemari obat, kotak keluaran/outlet dan sakelar, saluran ke luar antena televisi dan lain-lain) harus selalu diselang-seling untuk menghindari transmisi bunyi yang langsung lewat partisi (Gambar 13.16). Semua rongga harus dibungkus dan lubang serta celah-celah sekeliling peralatan yang dipasang harus didempul dengan hati-hati.

5. Pipa-pipa servis, alat-alat mekanik dan alat-alat penerangan tidak boleh dipasang di dalam tembok atau paduan lantai langit-langit yang dirancang untuk mengadakan pemisahan akustik. Pipa-pipa dalam peralatan ini harus dipasang dengan pegas pada tembok atau digantung di langit-langit bila mereka cenderung mentransmisi bising dan getaran.

6. Bila terali ventilasi digunakan, maka harus ada penyaring bisingnya.

Pengendalian bising dan getaran mekanik dibahas dalam Bab 16.



Gambar 13.16 Perlengkapan tetap yang dipasang saling membelakangi dalam tembok pemisah (A) harus diselang-seling, dengan rongga dibungkus dan celah didempul (B), untuk menghindari transmisi bunyi secara langsung lewat partisi.

13.6.7 Organisasi Bila bising yang ada tak dapat dikendalikan, atau bila langkah-langkah koreksi untuk mereduksi bising tidak ekonomis, situasi sering dapat diperbaiki lewat organisasi.

Sebagai contoh, ruang-ruang tertentu yang terlampau dipengaruhi bising yang berlebihan dapat dikelompokkan kembali atau dilokasikan kembali.

Kadang-kadang tanpa perlu, terlampau banyak pekerja dipengaruhi oleh mesin-mesin yang bising yang tersebar dalam bengkel. Bila masing-masing mesin tak dapat dikendalikan bisingnya, maka dianjurkan untuk mempertimbangkan pengelompokannya kembali ke dalam daerah yang terisolasi yang ditempatkan sejauh mungkin dari kegiatan-kegiatan lain.

Dalam kasus-kasus lain, daerah lantai yang luas dan bising harus dipisahkan dari sisa ruang.

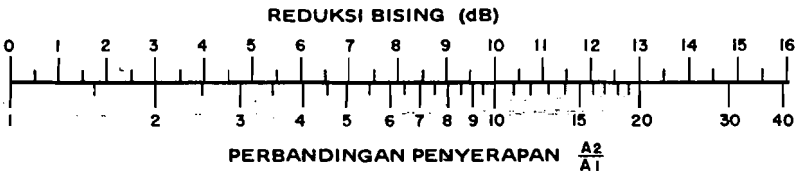
Earplugs atau earmuffs harus digunakan dalam daerah-daerah yang sangat bising di mana tak ada cara lain yang masuk akal untuk mereduksi bising yang dapat dilakukan, atau digunakan dalam bengkel yang otomatis sepenuhnya di mana pada dasarnya tak ada pekerja-pekerja yang dipengaruhi oleh bising yang berlebihan itu.

Peraturan anti bising, bila dipaksakan dengan ketat, mengandung cara-cara yang efektif untuk melawan bising dalam masyarakat lewat organisasi.

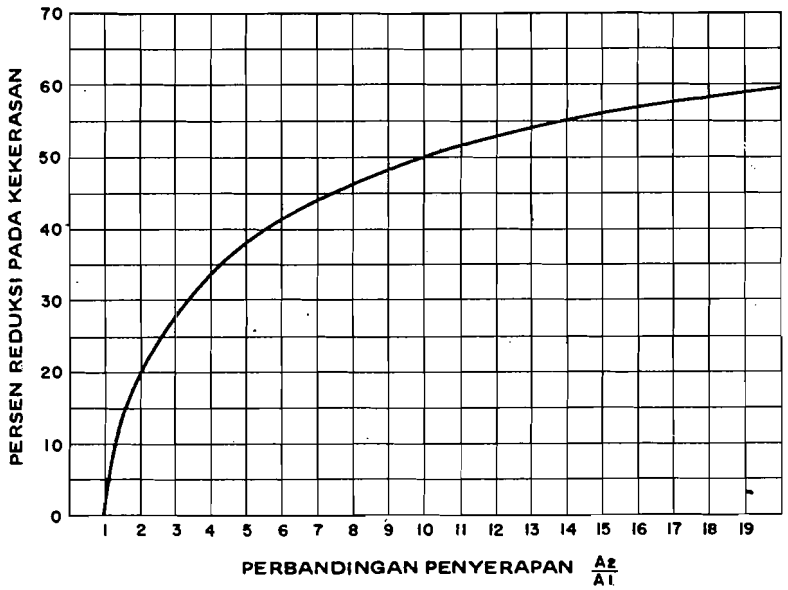
13.6.8 Penyerapan Bunyi Telah dijelaskan sebelum ini bahwa tingkat bising dalam ruang penerima disebabkan oleh bunyi langsung dan bunyi pantul atau bunyi dengung (Gambar 13.3). Tingkat bising bunyi dengung dapat direduksi sampai batas tertentu lewat usaha penyerapan bunyi. Reduksi tingkat bising ini (tidak terlampau dekat sumber bising) karena pemasangan bahan penyerap bunyi diberikan oleh rumus

$$\text{Reduksi tingkat bising (dB)} = 10 \log \frac{A_2}{A_1}$$

di mana A_1 dan A_2 adalah nilai total penyerapan bunyi dalam ruang dalam feet persegi (meter persegi) masing-masing sebelum dan sesudah diberi lapisan tambahan. Gambar 13.17, yang secara grafik menyatakan reduksi tingkat bising, menunjukkan bahwa agar diperoleh reduksi 3 dB dalam tingkat bising dengung, maka perlulah jumlah penyerapan yang ada dalam ruang digandakan. Bila oleh pemasangan bermacam-macam bahan akustik, penyerapan ruang dapat ditambah dengan faktor 10, maka tingkat bunyi dengung akan direduksi dengan 10 dB. Gambar 13.18 menunjukkan bahwa menggandakan jumlah penyerapan dalam ruang menghasilkan



Gambar 13.17 Reduksi tingkat bising dalam ruang karena lapisan penyerap bunyi; A_1 dan A_2 = jumlah total penyerapan sebelum dan sesudah pemasangan lapisan akustik tambahan.



Gambar 13.18 Reduksi pada kekerasan dalam ruang karena penggunaan lapisan penyerap bunyi; A_1 dan A_2 masing-masing menyatakan jumlah total penyerapan sebelum dan sesudah pemasangan lapisan akustik tambahan.

reduksi kekerasan sekitar 20 persen. Bila penyerapan ruang ditambah dengan faktor 10, maka ia menghasilkan reduksi kekerasan sekitar 50 persen. Sekali reduksi 10 dB dicapai, sangat sedikit reduksi tingkat bising tambahan dapat diharapkan dalam ruang oleh penggunaan bahan penyerap bunyi. Penggunaan bahan penyerap bunyi dalam suatu ruang tidak boleh dianggap sebagai pengganti atau pengobatan insulasi bunyi yang tidak sempurna.

Memasukkan sebanyak mungkin lapisan penyerap bunyi yang cocok dalam ruang mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

1. Ruang menjadi lebih tenang (kecuali bagi orang yang ditempatkan dalam medan bunyi langsung).
2. Tingkat bunyi keseluruhan akan dikurangi. Energi bunyi yang lebih sedikit akan jatuh pada tembok-tembok ruang, dan menghasilkan transmisi bising yang direduksi pada ruang-ruang yang berdampingan.
3. Lapisan penyerap cenderung melokalisir bising di daerah asalnya. Ini terutama menguntungkan dalam bengkel dengan mesin-mesin yang bermacam-macam tingkat bisingnya. Operator mesin yang relatif tenang tidak begitu diganggu oleh unit yang lebih bising tetapi berada lebih jauh.
4. RT akan direduksi. Ini terutama menguntungkan dalam ruang kerja dengan bising yang tiba-tiba karena dengung bising yang tak terduga ini akan direduksi. Selain itu, ia memungkinkan lokalisasi mental beberapa sumber bunyi dengan lebih baik, dengan mengurangi perasaan bingung dan memperbaiki perasaan sehat bagi pekerja-pekerja dalam ruang yang bising.

Pemakaian penyerap bunyi yang banyak dalam ruang yang diajari tim-guru dan dalam kantor-kantor terbuka (landscaped offices), terutama sepanjang lantai dan langit-langit adalah penting. Dalam ruang-ruang ini tidak digunakan partisi pereduksi bising; akibatnya bunyi dari sumber yang berbeda turun dengan jarak secepat mungkin. Ini dicapai oleh pemakaian lapisan akustik yang ekstensif sepanjang dinding-dinding (Bab 17).

Penggunaan bahan penyerap bunyi menguntungkan dalam berbagai ruang sirkulasi, seperti ruang depan, lobi, serambi dan lain-lain. Serambi panjang (dan terutama sempit) yang tidak diatur secara akustik berlaku sebagai tabung pentransmisi bising. Dengan menggunakan lapisan akustik sepanjang langit-langitnya (dan bagian atas dinding-dinding samping, bila memungkinkan) bising di daerah terdekat sumbernya dibatasi dan tingkat bising di seluruh serambi direduksi.

Bahan penyerap bunyi yang harus digunakan untuk tujuan reduksi bising sama seperti yang dibahas dalam Bab 5. Penyerap harus dipasang sedekat mungkin dengan sumber-sumber bising. Bila permukaan-permukaan ruang yang ada tidak mempunyai luasan yang cukup bagi bahan penyerap bunyi, maka penyerap ruang (space absorbers) disarankan (Bagian 5.4).

Karena koefisien penyerapan bunyi bahan-bahan akustik berubah dengan frekuensi, maka reduksi bising yang dicapai berbeda pada bermacam-macam frekuensi. Ini harus diperhatikan dalam memilih lapisan penyerap yang tepat.

13.6.9 Penyelimutan (Masking) Bising Dalam banyak situasi, masalah-masalah pengendalian bising dapat dipecahkan dengan menenggelamkan (atau menyelimuti) bising yang tak diinginkan lewat bising latar belakang yang dibuat secara elektronik. Bising buatan ini sering dianggap sebagai *minyak wangi akustik*, walau istilah *acoustical deodorant* lebih tepat. Proses ini menekan perembesan kecil yang dapat mengganggu privacy penerima.

Bising dari sistem ventilasi, dari arus lalu-lintas yang serba sama, atau dari kegiatan-kegiatan kantor pada umumnya membantu bising penyelimut buatan.

Dalam merancang kantor-kantor terbuka (landscape office) ketentuan bising latar belakang yang relatif tinggi tetapi dapat diterima (dari sistem ventilasi atau pengkondisi udara) adalah penting untuk menutupi bising kantor yang tak diinginkan yang dihasilkan oleh mesin ketik, telepon, mesin-mesin kantor, atau percakapan keras dan untuk menyediakan jumlah yang dapat diterima untuk privacy.

Dalam ruang kelas dengan pengajaran tim, bunyi diproduksi karena beberapa grup belajar dan tersebar ke berbagai arah saling meniadakan sampai suatu batas tertentu dan menghasilkan tipe bising selimut tertentu yang nampaknya dapat diterima pemakai ruang.

Musik latar belakang yang dipilih secara tepat dan didistribusi dengan baik juga dapat dianggap sebagai tipe bising selimut.

13.6.10 Konstruksi Bangunan Penginsulasi Bunyi Bila metoda pengendalian bising yang dibahas sejauh ini tak dapat diikuti untuk mengadakan lingkungan akustik yang disukai dalam suatu bangunan, maka masih ada satu pemecahan: penyungkup/enclosure pengisolasi bunyi yang sesuai (dinding, lantai, pintu, atau jendela) harus digunakan, jelas ini meminta biaya konstruksi yang lebih banyak. Pembahasan yang terperinci tentang konstruksi bangunan penginsulasi bunyi akan dijumpai dalam Bab 14.

KEPUSTAKAAN

Buku

Beranek, L.L.: *Acoustic Measurement,* John Wiley & Sons, Inc., New York, 1949, 914 halaman.

Geiger, P.G.: *Noise Reduction Manual,* University of Michigan Engineering Research Institute, 1956, 167 halaman.

Harris, C.M. (ed.): *Handbook of Noise Control,* McGraw-Hill Book Company, New York, 1957, 1184 halaman.

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings,* Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, bab 7, 8, dan 10.

Peterson, A.P.G., and E.E. Gross: *Handbook of Noise Measurement,* General Radio Co., West Concord, Mass., 1960, 132 halaman.

Beranek, L.L. (ed.): *Noise Reduction,* McGraw-Hill Book Company, New York, 1960, 752 halaman.

Schoenauer, N., and S. Seeman: *The Court-garden House,* McGill University Press, Montreal, 1962, 204 halaman.

Lord, P., and F.L. Thomas (eds.): *Noise Measurement and Control,* Heywood & Co., London, 1963, 217 halaman.

Noise: The Wilson Report, Her Majesty's Stationery Office, London, Juli 1963, 235 halaman.

Burns, W.: *Noise and Man,* W. Clowes & Sons, Ltd., London, 1968, 336 halaman.

Majalah

Allen, W.A., and P.H. Parkin: "Acoustics and Sound Exclusion", *Architectural Review,* Juni 1951, halaman 377–384.

Pietrasanta, A.C.: "Aircraft Noise and Building Design", *Noise Control,* Maret 1957, halaman 11–18, 88.

Beranek, L.L., K.D. Kryter, and L.N. Miller: "Reaction of People to Exterior Aircraft Noise", *Noise Control,* September 1959, halaman 23–31, 60.

Kryter, K.D.: "Scaling Human Reactions to the Sound from Aircraft", *J. Acoust. Soc. Am.,* Nopember 1959, halaman 1415–1429.

Miller, L.N.: "High Intensity Noise", *Architectural Record,* Desember 1959, halaman 162–165, 169–170.

Goodfriend, L.S.: "Measurement of Noise", *Noise Control,* Maret-April 1961, halaman 4–12.

Hubbard, H.H.: "Nature of the Sonic Boom Problem", *J. Acoust. Soc. Am.,* Mei 1966, halaman S1–S9.

Nixon, C.W., and P.N. Borsky: "Effects of Sonic Boom on People", *J. Acoust. Soc. Am.,* Mei 1966, halaman S51–S58.

Warren, C.H.E.: "Experience in the United Kingdom on the Effects of Sonic Bangs", *J. Acoust. Soc. Am.,* Mei 1966, halaman S59–S64.

Creighton, H.: "Noise in the External Environment", *J. RIBA,* Oktober 1966, halaman 465–470.

Beranek, L.L.: "Noise", *Scientific American,* Desember 1966, halaman 66–76.

Farrell, R.: "Masking Noise: Silence Is Golden, Privacy Is Pink", *Progressive Architecture,* Nopember 1967, halaman 152–155.

Prestemon, D.R.: "How Much Does Noise Bother Apartment Dwellers?", *Architectural Record,* Pebruari 1968, halaman 155–156.

"Noise in Scandinavia", *Build International,* September–Oktober 1968, halaman 52–57.

Harman, D.M.: "The Role of the dB-A", *Applied Acoustics,* April 1969, halaman 101–109.

Scholes, W.E., and G.H. Vulkan: "Note on the Objective Measurement of Road Traffic Noise", *Applied Acoustics,* Juli 1969, halaman 185–197.

Thomas, R.J.: "Traffic Noise: The Performance and Economics of Noise-reducing Materials", *Applied Acoustics*, Juli 1969, halaman 207–213.

Langdon, J.: "Traffic Noise Control Criteria", *Build International*, Juli–Agustus 1969, halaman 26–30.

Franken, P.A., and G. Jones: "On Response to Community Noise", *Applied Acoustics*, Oktober 1969, halaman 241–246.

Hewling, M.: "Town Planning and Traffic Noise", *Applied Acoustics*, Oktober 1969, halaman 247–257.

Bottom, C.G., and D.J. Croome: "Road Traffic Noise: Its Nuisance Value", *Applied Acoustics*, Oktober 1969, halaman 279–296.

Schaudinischky, L.H., N. Moses, and A. Schwartz: "General Graphical Method for Aircraft Noise Evaluation", *Applied Acoustics*, Oktober 1969, halaman 297–308.

Scholes, W.E.: "Traffic Noise Criteria", *Applied Acoustics*, Januari 1970, halaman 1–21.

Intisari dan Laporan

Northwood, T.D.: *Noise Transmission in Buildings*, Canadian Building Digest 10, National Research Council, Ottawa, Oktober 1960, 4 halaman.

Northwood, T.D.: *Sound and People*, Canadian Building Digest 41, National Research Council, Ottawa, Mei 1963, 4 halaman.

Parkin, P.H., H.J. Purkis, R.J. Stephenson, and B. Schlaffenberg: *London Noise Survey*. Building Research Station, London, 1968, 60 halaman.

Leach, S.J.: *Noise*, Building Research Station News, Garston, Autumn 1970, halaman 16–17.

Konstruksi Insulasi Bunyi

Bila karena sesuatu sebab tak ada satupun metoda pengendalian bising yang digambarkan dalam Bab 13 dapat diterapkan, maka transmisi bising lewat udara, transmisi bising lewat struktur bangunan (impak) atau getaran harus dicegat; artinya privacy akustik yang diinginkan harus dicapai dengan menggunakan dinding, lantai, pintu atau jendela penginsulasi bunyi.

Pada masa lampau, bahan bangunan yang berat dan menyita tempat digunakan untuk konstruksi dinding penginsulasi bunyi: makin berat dan tebal dindingnya, makin efisien insulasi bunyinya.

Dalam bangunan masa kini, dinding serta lantai tebal dan berat harus dihindari agar diperoleh lebih banyak ruang; dan untuk menghemat beban konstruksi, jadi mengurangi biaya bangunan; juga memperpendek waktu konstruksi; dan untuk menyediakan keluwesan dalam perancangan. Persyaratan ini telah merangsang pemakaian akan elemen bangunan yang tipis, ringan, siap pakai dan dapat dipindahkan, yang menciptakan masalah akustik yang serius bagi arsitek dan hampir selalu kehilangan privacy yang banyak bagi pemakai bangunan.

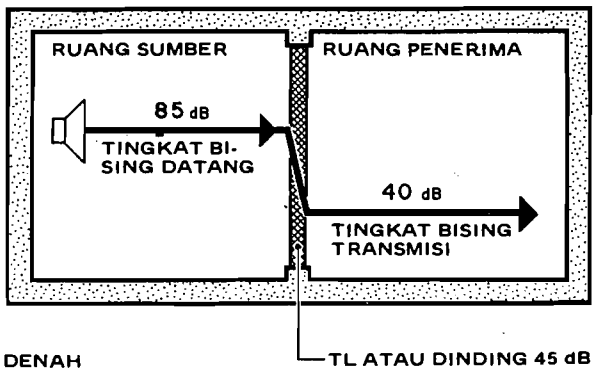
Dalam pembahasan berikut ini, istilah *penyekat* (partition) berarti tiap penutup/enclosure (dinding, lantai, pintu atau jendela) yang memisahkan tiap dua ruang secara horisontal atau vertikal.

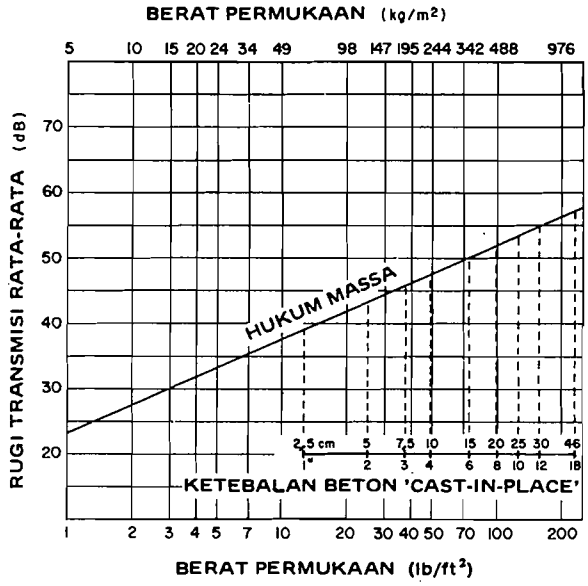
14.1 Insulasi Terhadap Bunyi yang Lewat Udara

14.1.1 Rugi Transmisi Bunyi (Sound Transmission Loss) *Rugi transmisi bunyi,* atau secara singkat *rugi transmisi* (TL) suatu partisi, yang dinyatakan dalam decibel merupakan ukuran insulasi bunyinya. Ia sama dengan jumlah decibel berkurangnya energi bunyi datang pada partisi bila melewati struktur. Nilai numerik TL hanya tergantung pada konstruksi partisi dan berubah dengan frekuensi bunyi. Ia tak tergantung pada sifat akustik kedua ruang yang dipisahkan oleh partisi itu.

TL partisi dapat ditentukan di laboratorium akustik atau di lapangan sebagai berikut: bunyi tunak (steady) dihasilkan di ruang sumber di salah satu sisi partisi yang dites; tingkat bunyi kemudian diukur pada kedua sisi partisi, yaitu, di ruang sumber dan ruang penerima. TL partisi ditentukan dari perbedaan antara tingkat bunyi yang diukur di kedua sisi partisi tersebut (Gambar 14.1).

14.1.2 Partisi Lembar-tunggal (Single-leaf) TL *partisi lembar-tunggal* yang homogen terutama tergantung pada berat permukaan partisi dan frekuensi bunyi yang ditransmisi. TL partisi semacam ini dapat ditentukan dari *kurva hukum massa* (mass-law curve), yang ditunjukkan di Gambar 14.2. Kurva ini menganggap bahwa bunyi jatuh pada partisi secara uniform dari semua arah (datang acak). Gambar menunjukkan bahwa untuk partisi lembar-tunggal TL ber-

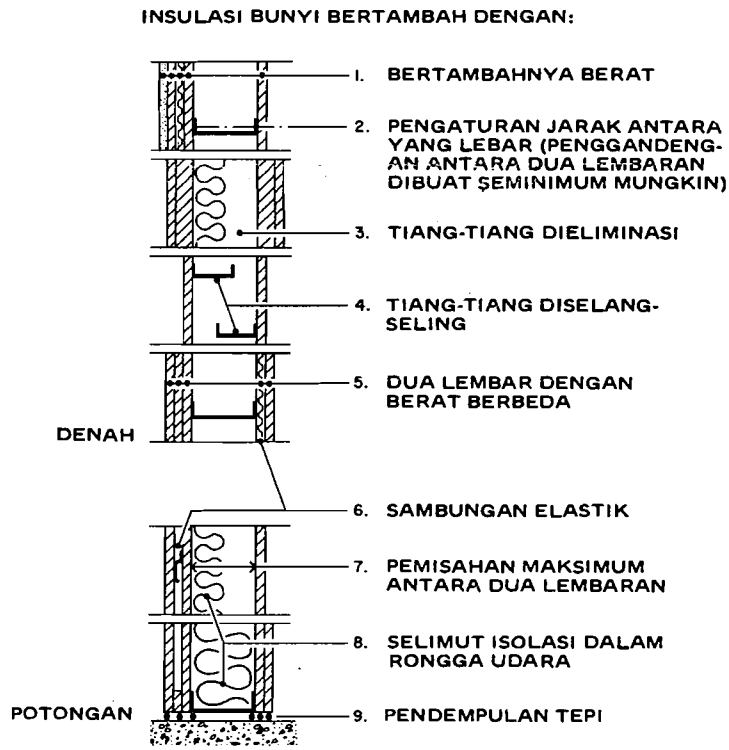




Gambar 14.1 (atas kiri) TL partisi, atau ukuran insulasi bunyinya, adalah sama dengan jumlah decibel berkurangnya energi bunyi datang pada partisi ketika melewati struktur.
Gambar 14.2 (atas kanan) Perkiraan TL rata-rata partisi padat lembaran-tunggal dapat diperoleh dari kurva hukum-massa ini.

tambah sekitar 5 sampai 6 dB untuk tiap penggandaan frekuensi atau penggandaan berat. Harus dicatat bahwa TL partisi lembar-tunggal, berapa pun beratnya, tidak dapat ditambah sampai tak terbatas karena jejak transmisi sisi (flanking transmission) yang tak dapat diduga.

Untuk mencapai TL partisi yang efektif, partisi harus kedap terhadap aliran udara. Dinding balok beton yang berpori tidak akan mempunyai TL yang sebanding dengan beratnya, seperti jelas dari Gambar 14.2, karena porositasnya. Walaupun demikian, TL partisi yang berpori dapat banyak diperbaiki dengan menutup permukaannya yang tampak dengan plesteran cat minyak, cat dasar semen, dan lain-lain.



Gambar 14.3 Beberapa susunan partisi ganda dengan detail yang berkontribusi dalam menambah insulasi bunyi.

Suatu batasan pada kurva hukum massa berasal dari kondisi khusus yang disebut *efek koinsidansi* (coincidence effect). Seperti yang biasa terjadi dalam praktek, pada kondisi ini TL efektif partisi pada frekuensi-frekuensi tertentu jauh lebih rendah daripada yang diramalkan oleh hukum massa. Efek koinsidansi akan mengganggu bila jangkauan frekuensi kritis (disebut *frekuensi koinsidansi*), di mana partisi pada dasarnya transparan terhadap jalan lintasan bunyi, jatuh dalam jangkauan yang dapat didengar. Efek koinsidansi dapat dikurangi atau dibatasi bila frekuensi koinsidansi dapat dijaga di luar jangkauan frekuensi yang penting. Ini dapat dicapai dengan menggunakan dinding yang relatif tebal dan sangat kaku atau dinding berat dan lemas dengan kekakuan yang berkurang.

14.1.3 Partisi Ganda (Multiple Partitions) Untuk mencapai perbaikan yang berarti dalam nilai TL partisi lembar-tunggal, dibutuhkan penggandaan massa atau massa dibuat tiga kali lebih besar. Pertambahan semacam ini dalam berat dan tebal dinding jelas sulit diadakan karena alasan fungsional, ruang, struktural dan ekonomis.

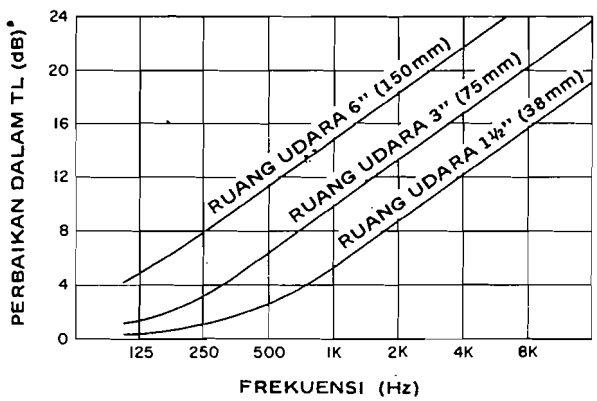
Bila derajat insulasi bunyi yang tinggi dibutuhkan, maka dianjurkan untuk menggunakan *partisi ganda* yang dibentuk dari dua atau tiga lembaran terpisah.

Partisi ganda (Gambar 14.3) menyediakan TL yang lebih tinggi daripada yang diharapkan dari berat totalnya, terutama pada frekuensi-ferkuensi yang tinggi, bila tindakan-tindakan pencegahan berikut ini diperhatikan:

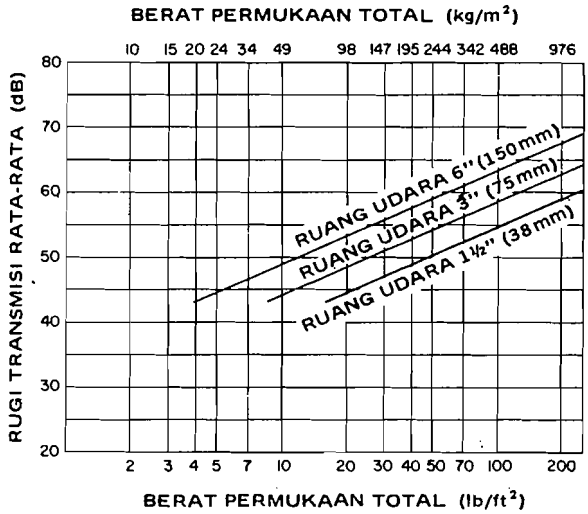
1. Berat total maksimum telah ditetapkan dengan baik.
2. Pemisahan antara lembaran telah dipastikan dengan teliti.
3. Jarak maksimum antara lembaran-lembaran telah ditetapkan.
4. Lapisan kontinu atau potongan selimut penyerap bunyi telah dipasang di ruang udara.
5. Lembaran dibangun dari bahan berbeda atau dari bahan yang sama tetapi dengan ketebalan yang berbeda.
6. Lembaran dipasang dengan bantalan pada tiang atau satu di atas lainnya.
7. Kebocoran bising, terutama sekeliling tepi, dicegah dengan teliti.
8. Kekakuan partisi ditetapkan untuk membuat efek koinsidansi minimum.

Gambar 14.4 menunjukkan perbaikan TL untuk partisi ganda dengan ruang udara pada partisi lembar-tunggal dengan berat total yang sama. Gambar 14.5 menggambarkan perkiraan TL rata-rata dari partisi ganda dengan berbagai ruang udara dan dengan lembaran yang tak berhubungan.

Harus dicatat bahwa kurva-kurva yang ditunjukkan dalam Gambar 14.4 dan 14.5 tidak menunjukkan penurunan (dip) yang kadang-kadang mengejutkan dan dapat terjadi dalam TL



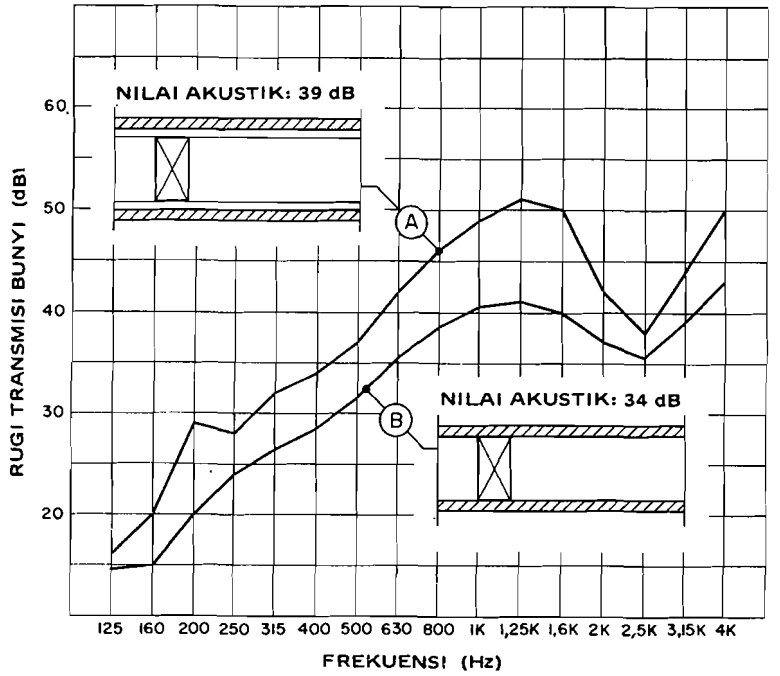
Gambar 14.4 Perkiraan perbaikan dalam TL partisi ganda dengan berbagai ruang udara antara partisi-partisi lembaran-tunggal dengan berat total yang sama.



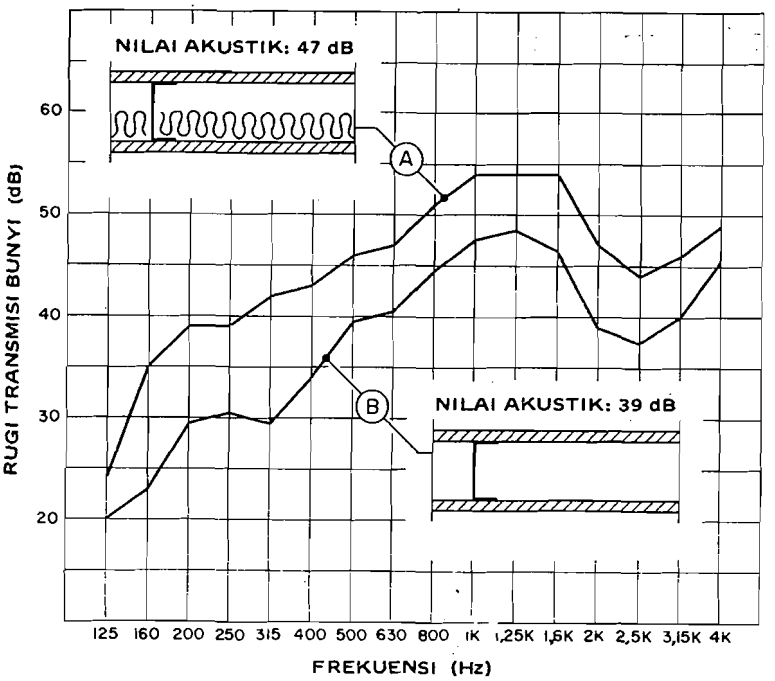
Gambar 14.5 Perkiraan TL rata-rata partisi ganda dengan ruang udara berbeda.

partisi ganda pada jangkauan frekuensi tertentu. Penurunan ini terjadi karena kondisi spesifik seperti kekakuan, hubungan struktural dan resonansi antara lapisan-lapisan; peredaman; tepi yang tetap. Karena itu, dalam penilaian akustik yang awal dari partisi ganda, diagram pada Gambar 14.2, 14.4 dan 14.5 harus digunakan dengan hati-hati. Dengan memilih bahan yang tepat dan penempatan dengan pemisahan yang cukup antara lembaran-lembaran, efek-efek ini menjadi minimum dan penurunan pada kurva TL tergeser ke jangkaunan frekuensi yang kurang kritis.

Gambar 14.6 menunjukkan efek menguntungkan dari penggunaan selimut isolasi dalam partisi tembok-kering ganda (multiple drywall partition). Penilaian akustik, disebut nilai *kelas transmisi bunyi* (sound transmission class) (Bagian 14.1.6) dinding ini adalah 47 dB bila selimut digunakan di antara kedua lapisan papan gypsum (Gambar 14.6*A*). Nilai akustik turun menjadi 39 dB bila tidak digunakan selimut isolasi (Gambar 14.6*B*). Detail partisi tembok-kering ini ditunjukkan dalam Gambar B.7 Appendiks B (dinding 43). Namun, harus ditekan-



Gambar 14.6 Partisi tembok-kering dengan papan gypsum $^5/_8$-in (16-mm) pada kedua sisi tiang logam (A) dengan selimut isolasi dalam ruang udaranya, di mana nilai akustik adalah 47 dB, dan (B) tanpa selimut isolasi, di mana nilai turunan menjadi 39 dB.



Gambar 14.7 Partisi tembok kering dengan papan gypsum $^5/_8$-inci (16 mm) pada kedua sisi tiang kayu (A) dengan batang penenang antara tiang dan papan gypsum, di mana nilai akustik adalah 39 dB, dan (B) tanpa batang penenang, di mana nilai turun menjadi 34 dB.

kan, bahwa selimut isolasi terutama menguntungkan hanya untuk dinding ganda yang ringan; selimut yang sama dalam tembok bata berongga hanya menambah sedikit nilai akustiknya.

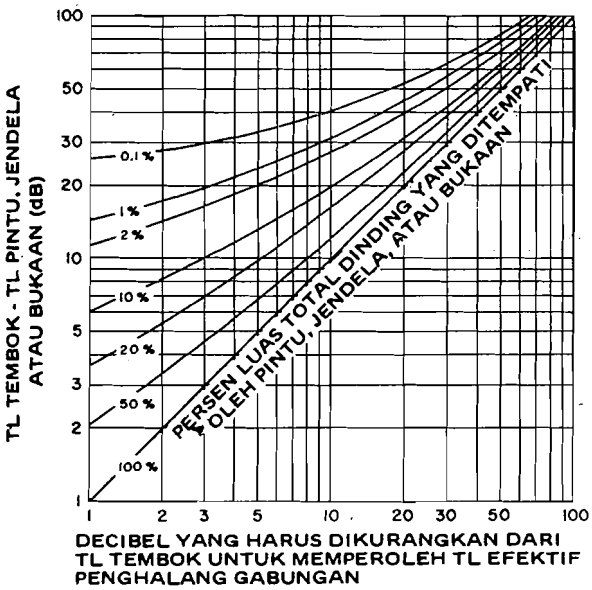
Gambar 14.7 menunjukkan pengaruh akustik batang elastik (resilient) yang dipasang secara horisontal yang digunakan pada partisi tembok-kering. Nilai akustik adalah 39 dB dengan batang elastik, tetapi ia turun menjadi 34 dB bila batang elastik tidak digunakan. Detail partisi ini ditunjukkan dalam Gambar B.3 (tembok 18 dan 21).

Tembok 5 Gambar B.1 membandingkan tembok bata berongga dengan dan tanpa tali kawat antara kedua lembaran. Keunggulan pilihan *b*, tanpa tali kawat jelas: ia mempunyai nilai akustik 54 dB, sedang pilihan *a*, dengan tali kawat, hanya mempunyai nilai akustik 49 dB.

Dalam Gambar B.1 sampai B.9 contoh-contoh praktis tambahan menggambarkan pengaruh elemen-elemen berbeda dalam menambah insulasi bunyi. Sebagai contoh, dalam konstruksi dinding ganda, tiang logam tipis yang luwes menghasilkan hubungan yang kurang tegar antara kedua lapisan dinding, dan membuat mereka lebih disukai daripada tiang kayu.

14.1.4 Penghalang Gabungan Bila sebuah pintu, jendela atau bukaan lain digabungkan ke dalam dinding, maka insulasi bunyi keseluruhan akhir dari *partisi gabungan* yang terjadi ditentukan terutama oleh elemennya yang terlemah. Gambar 14.8 menunjukkan prosedur untuk menghitung TL keseluruhan dari partisi gabungan. Menurut gambar ini, jika misalnya, pintu lipat (folding door) dengan nilai akustik 30 dB menempati 50% dari dinding yang mempunyai nilai 50 dB, TL akhir partisi gabungan akan menjadi kira-kira 50–18 = 32 dB. Untuk mencapai insulasi bunyi keseluruhan yang lebih tinggi untuk penghalang gabungan yang sama, sebuah pintu lipat dengan nilai akustik yang jauh lebih tinggi diperlukan. Sebaliknya, bila pemisahan akustik keseluruhan sebesar 32 dB dapat diterima, maka lebih baik untuk menggabungkan pintu lipat yang sama ke dalam partisi yang mempunyai nilai akustik yang hanya sekitar 45 dB.

Gambar 14.8 juga menyatakan bahwa hanya insulasi bunyi yang sangat kecil dapat diharapkan dari partisi ketinggian-sebagian, misalnya di kantor. Dalam hal ini partisi padat dengan bukaan di atas membentuk penghalang gabungan tersebut.



Gambar 14.8 Kurva untuk menghitung insulasi bunyi efektif penghalang gabungan.

14.1.5 Pengukuran Rugi Transmisi Karena TL, yaitu insulasi tiap partisi terhadap bunyi yang lewat udara, berubah dengan frekuensi, maka pengukuran TL harus dibuat meliputi jangkauan frekuensi 125 sampai 4000 Hz. Pengukuran TL dapat dilakukan di laboratorium atau di lapangan.

Pengukuran laboratorium harus dilakukan sesuai dengan praktek yang berlaku sekarang yang disahkan oleh American Society for Testing and Materials, The American National Standards Institute dan International Organization Standardization. Metoda testing digambarkan dalam rekomendasi yang ditunjukkan dalam ASTM E90-66T, "Tentative Recommended Practice for Laboratory Measurement of Air-borne Sound Transmission Loss of Building

Partitions". Sesuai dengan prosedur yang disarankan, suatu panel percobaan yang menggambarkan sebuah dinding atau lantai dalam testing ini harus cukup besar, dan biasanya dipasang dalam kerangka percobaan yang diletakkan dalam suatu bukaan antara dua ruang percobaan (dengung), menyerupai konstruksi yang sesungguhnya. Pengukuran TL dibuat pada beberapa frekuensi percobaan (biasanya 16) antara 125 dan 4000 Hz. TL panel percobaan diberikan oleh rumus

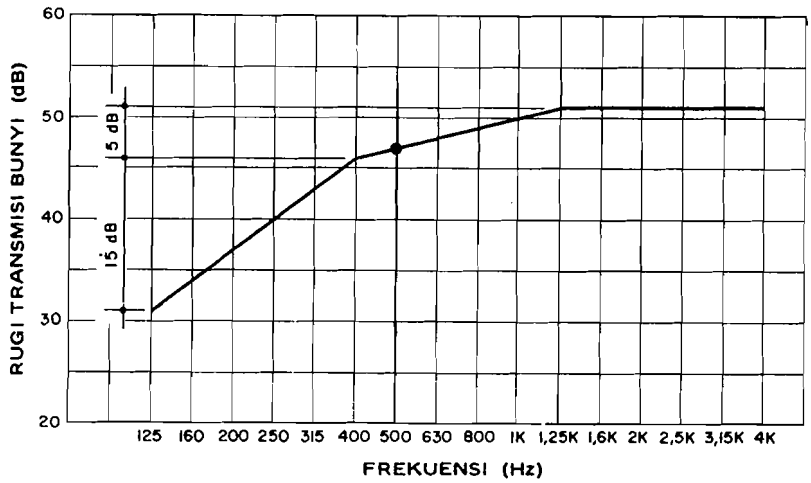
$$TL = L_1 - L_2 + 10 \log S - 10 \log A_2$$

dengan L_1 = tingkat tekanan bunyi rata-rata dalam ruang sumber, dB
L_2 = tingkat tekanan bunyi rata-rata dalam ruang penerima, dB
S = luas panel percobaan, ft persegi (m persegi)
A_2 = penyerapan total di ruang penerima, sabin ft persegi (sabin meter persegi)

Pada masa lampau, dalam laporan laboratorium tentang tes tersebut, diberikan rata-rata aritmatika TL. Ini merupakan cara penilaian yang mudah tetapi sering menyesatkan, karena ia memberi arti yang sama untuk semua frekuensi percobaan, tanpa perduli pentingnya mereka, dan karena ia memberi arti yang sama pada nilai TL yang tinggi maupun rendah, berarti bahwa nilai-nilai TL yang sangat tinggi pada frekuensi tertentu dapat mengkompensasi nilai TL yang rendah pada frekuensi lain.

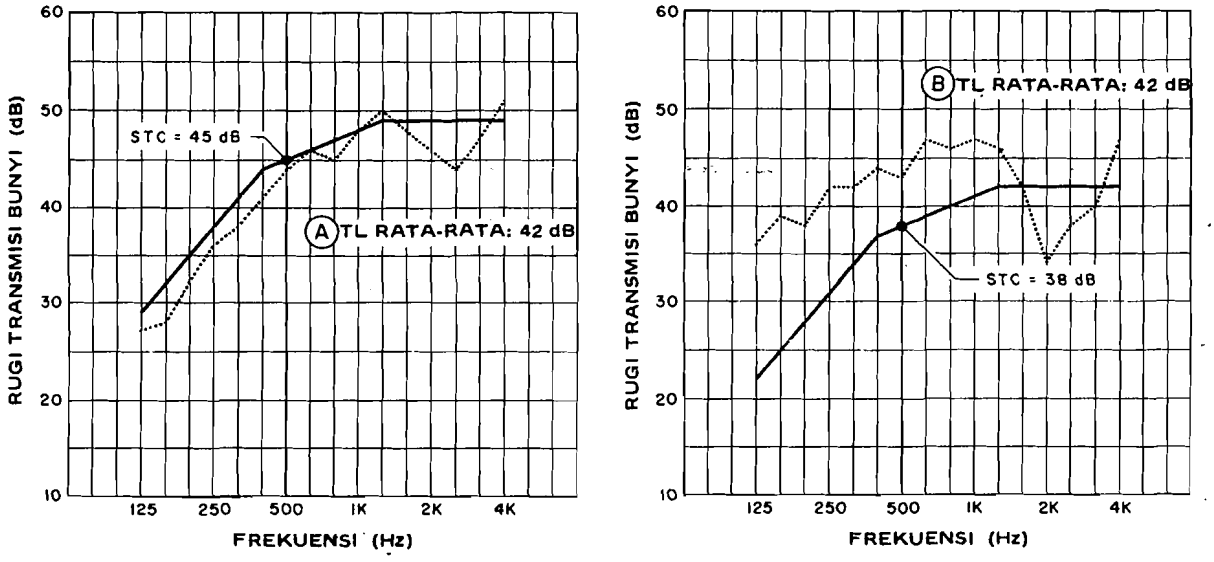
14.1.6 **Kelas Transmisi Bunyi** Untuk menghindari hakekat TL rata-rata yang menyesatkan dan untuk menyediakan sebuah penilaian angka-tunggal yang dapat diandalkan untuk membandingkan partisi, rekomendasi ASTM E90-66T yang ada sekarang, telah menyetujui prosedur yang berbeda untuk penilaian angka-tunggal, disebut penilaian *kelas transmisi bunyi* (sound transmission class) (STC). Menurut prosedur ini, STC partisi dapat ditentukan dengan membandingkan ke-16 frekuensi kurva TL dengan kontur acuan standar, yaitu *kontur kelas transmisi bunyi* (sound transmission class contour) (Gambar 14.9). Kontur STC terdiri dari potongan horisontal dari 1250 sampai 4000 Hz, potongan tengah, yang berkurang dengan 5 dB dari 1250 sampai 400 Hz, dan potongan/penggal frekuensi rendah, yang berkurang dengan 15 dB dari 400 sampai 125 Hz. Nilai STC untuk suatu partisi ditentukan dengan membandingkan kurva TL pengukuran dengan kontur STC, yaitu, dengan menggeser kontur STC secara vertikal relatif terhadap kurva TL sampai beberapa nilai TL pengukuran berada di bawah TL kontur STC dan memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut: (1) jumlah penyimpangan, yaitu, penyimpangan di bawah kontur, tidak melebihi 32 dB (rata-rata 2 dB untuk tiap 16 frekuensi percobaan); dan (2) penyimpangan maksimum pada tiap frekuensi percobaan tunggal tidak melebihi 8 dB.

Bila konturnya disesuaikan dengan nilai tertinggi (dalam decibel yang bulat) yang memenuhi persyaratan di atas, nilai STC untuk konstruksi dinding atau lantai yang sedang diamati adalah nilai TL pada perpotongan kontur dengan ordinat 500 Hz.



Gambar 14.9 Kontur kelas transmisi bunyi tertentu (STC 47).

Contoh berikut akan menggambarkan bagaimana nilai rata-rata TL suatu partisi cepat menyesatkan dalam menilai penampilan insulasi bunyinya. Dua partisi yang berbeda dengan TL berbeda pada pembacaan frekuensi yang vital tetapi dengan nilai TL rata-rata yang sama dapat dianggap sama efektif secara akustik terhadap bising yang lewat udara bila TL rata-ratanya dianggap sebagai karakteristik insulasi bunyinya. Hal ini tentunya salah. Gambar 14.10*A* dan *B* menunjukkan kurva-kurva TL dua buah partisi semacam itu, keduanya kebetulan mempunyai nilai TL rata-rata pada 16 frekuensi sebesar 42 dB. Dengan dasar nilai TL rata-rata kedua partisi ini nampaknya sama walau diagram *B* menunjukkan penyimpangan yang dalam (jurang = dip) pada jangkauan frekuensi total 1250 sampai 4000 Hz. Walaupun demikian, kontur STC yang sesuai yang ditumpukkan di atas kurva TL *A* dan *B*, menunjukkan bahwa partisi *A* dengan nilai STC 45 dB lebih baik dari partisi *B*, yang hanya mempunyai nilai STC 38 dB.



Gambar 14.10 Perbandingan penampilan insulasi-bunyi dua partisi. Nilai TL rata-rata partisi A dan B adalah sama, tetapi kontur STC yang bersangkutan menunjukkan keunggulan partisi A.

14.1.7 Reduksi Bising oleh Partisi Seperti telah disebutkan sebelum ini, TL ditentukan oleh sifat fisis partisi, tanpa tergantung sifat akustik ruang-ruang yang dipisahkan oleh partisi tersebut.

Reduksi bising (noise reduction) (NR) adalah istilah yang lebih umum daripada TL untuk menyatakan insulasi bunyi antara ruang-ruang karena ia ikut memperhitungkan efek berbagai jejak transmisi antara ruang sumber dan ruang penerima dan juga sifat akustik ruang-ruang ini.

NR yang dinyatakan dalam decibel, diberikan oleh

$$\mathrm{NR} = L_1 - L_2$$

atau

$$\mathrm{NR} = \mathrm{TL} + 10 \log \frac{A_2}{S}$$

di mana L_1 = tingkat tekanan bunyi rata-rata di ruang sumber, dB
L_2 = tingkat tekanan bunyi rata-rata di ruang penerima, dB
TL = rugi transmisi, dB
A_2 = penyerapan total ruang penerima, sabin ft persegi (sabin meter persegi)
S = luas partisi, ft persegi (meter persegi)

NR dapat lebih tinggi atau lebih rendah dari TL, tergantung pada hubungan antara luas partisi dan penyerapan bunyi dalam ruang penerima. Dengan menambah luas partisi, terdapat transmisi bising yang lebih banyak, dan dengan penambahan penyerapan bunyi, terjadi trans-

misi bising yang lebih sedikit ke dalam ruang penerima. Bila semua permukaan batas di ruang penerima menyerap secara sempurna, NR akan melampaui TL dengan sekitar 5 dB, dalam hal tersebut NR = TL + 5 dB.

NR yang disediakan oleh partisi antara sumber dan ruang penerima akan sering berkurang dengan apa yang disebut *transmisi sampingan* (flanking transmission), yaitu bunyi yang merambat lewat jejak sampingan, seperti dinding samping, lantai, bukaan dalam partisi (karena sambungan atau celah), pintu, sambungan antara partisi dan mullions, langit-langit plenum, pipa saluran udara, alat-alat yang tertanam, hubungan silang pada unit pemanas dan lain-lain. Kebanyakan dari jejak-jejak transmisi ini ditunjukkan dalam Gambar 13.6.

14.2 Insulasi Terhadap Bising Struktur/Bangunan (Impact)

Insulasi terhadap bising bangunan (atau impact) dapat diperoleh dengan menggunakan:

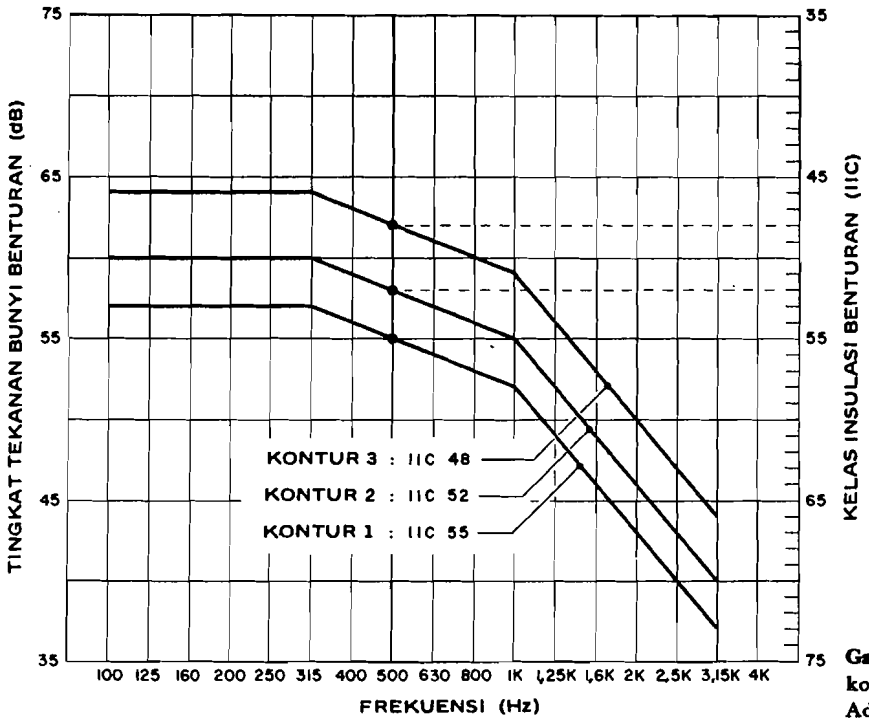
1. Lapisan lantai lembut (karpet, gabus, vinyl, karet, dan lain-lain).
2. Lantai mengambang.
3. Pemasangan berpegas/resilient (anti getaran).
4. Langit gantung padat yang dipasang dengan pegas (resiliently).

Penambahan lapisan lantai yang empuk tidak memberi insulasi tambahan terhadap bunyi yang lewat udara tetapi hanya mereduksi atau mengeliminasi bising impak/benturan, seperti bising langkah kaki, disumbernya. Sebaliknya, lantai mengambang atau langit-langit yang digantung dengan pegas juga memperbaiki insulasi lantai terhadap bunyi yang lewat udara.

14.2.1 Pengukuran Bising Struktur (Bising Benturan) Pengukuran bising struktur atau bising benturan berbeda dengan pengukuran bising di udara. Menurut rekomendasi International Organization for Standardization (ISO R 140-1960E), insulasi terhadap bising benturan yang dilakukan oleh suatu lantai harus ditentukan dengan menggunakan mesin *pengetuk* (tapping) standar, yang menghasilkan rangkaian benturan yang merata dengan kelajuan yang konstan pada lantai yang sedang diperiksa, dengan cara menjatuhkan bebas lima palu kecil pada kelajuan tertentu pada lantai. Tingkat tekanan bunyi benturan yang ditransmisi ke ruang penerima di bawah lantai, diukur dengan meter tingkat bunyi dalam 16 pita $^1/_3$ oktaf dengan frekuensi pusat antara 100 dan 3150 Hz. Pengukuran dinormalisasi ke ruang penerima dengan RT sebesar T_0 = 0.5 detik karena jumlah bahan penyerap bunyi mempunyai pengaruh pada tingkat bunyi yang diukur.

Tingkat tekanan bunyi benturan (impact sound pressure: ISP) yang diukur kemudian dibandingkan dengan *kontur bunyi benturan acuan standar* (impact-noise reference contour). Gambar 14.11 menggambarkan tiga kontur bising benturan acuan, *kontur 1, kontur 2,* dan *kontur 3,* yang saat ini digunakan oleh National Bureau of Standards, Washington, D.C., dan oleh the Federal Housing Administration disarankan untuk digunakan. Kontur-kontur ini terdiri dari potongan frekuensi rendah yang horisontal dari 100 sampai 315 Hz, potongan tengah yang berkurang dengan 5 dB dari 315 sampai 1000 Hz, dan potongan frekuensi tinggi yang berkurang dengan 15 dB dari 1000 sampai 3150 Hz. Ketiga kontur acuan pada Gambar 14.11 menyatakan kriteria yang akan diamati dalam lingkungan yang berbeda, misalnya di daerah pedesaan, pinggiran kota, daerah kota, atau pusat kota, dengan kondisi bising yang berbeda. Skala ordinat di kiri menunjukkan tingkat *tekanan bunyi benturan* (impact sound pressure: ISP), skala ordinat di kanan menunjukkan tingkat *kelas insulasi benturan* (impact insulation class: IIC) yang merupakan skala yang cocok untuk penilaian insulasi struktur (benturan) dari lantai dalam bilangan tunggal. Konstruksi lantai memenuhi persyaratan kontur IIC tertentu bila beberapa nilai SPL yang terukur untuk lantai yang diperiksa ada di atas nilai SPL kontur IIC dan bila (1) jumlah penyimpangan, yaitu, penyimpangan di atas kontur, tidak lebih besar dari 32 dB (rata-rata 2 dB untuk 16 frekuensi percobaan) dan (2) penyimpangan maksimum pada tiap frekuensi tidak melampaui kontur lebih dari 8 dB.

Dengan kondisi ini nilai IIC lantai yang diperiksa adalah nilai skala IIC pada 500 Hz dari kontur acuan terendah untuk mana persyaratan di atas dipenuhi.



Gambar 14.11 Kontur IIC yang direkomendasi oleh the Federal Housing Administration.

Penggunaan bilangan tunggal STC dan penilaian IIC yang sederhana akan sangat membantu arsitek dalam penilaian dan pemilihan konstruksi dinding dan lantai yang cepat tetapi tepat. Dalam gambar tembok dan lantai yang dimasukkan dalam Appendiks B dan C (Gambar B.1 sampai B.9 dan C.1 sampai C.4) nilai STC dan IIC yang bersangkutan ditunjukkan.

Walau terdapat beberapa keberatan terhadap mesin pengetuk sebagai sumber bising dalam menetapkan nilai insulasi benturan lantai-lantai, tidak ada metoda yang lebih baik yang dapat dipakai. Walau beberapa pejabat menyatakan bahwa mesin pengetuk tidak begitu baik dalam meniru bising langkah kaki yang dihasilkan wanita-wanita yang menggunakan sepatu bertumit tinggi, syukurlah telah terjadi perubahan mode, sehingga bising macam ini juga menghilang, paling sedikit pada saat ini.

14.3 Pengukuran Laboratorium Dibanding Pengukuran Lapangan

Tujuan melakukan pengukuran lapangan adalah untuk meyakinkan bahwa akustik partisi (dinding, lantai, pintu atau jendela) memenuhi kriteria akustik yang ditetapkan. Pengukuran insulasi bunyi dinding dan lantai di lapangan, dulu biasanya dilakukan pada kondisi yang kurang menguntungkan dan dengan metoda yang tak dapat diandalkan. Penilaian akustik yang dicapai di lapangan adalah 5 sampai 10 dB lebih rendah daripada yang diukur di laboratorium yang dikendalikan dengan teliti, pada kondisi percobaan ideal, dan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan terlebih dahulu serta diatur dengan baik.

Selama percobaan di laboratorium, bunyi hanya ditransmisi lewat panel percobaan, tanpa sesuatu jejak tak langsung atau sampingan sekitar panel. Pengukuran yang berulang-ulang yang dilakukan pada beberapa panel percobaan (dari partisi yang secara nominal identik) dalam laboratorium yang sama (atau dalam laboratorium lain yang diakui yang standarnya sama) akan memberi hasil-hasil yang sesuai, pada tiap frekuensi.

Hasil-hasil pengukuran lapangan berbeda dengan percobaan laboratorium karena alasan-alasan berikut:

1. Dinding-dinding pada tes lapangan secara struktural dihubungkan dengan dinding dan lantai sekitarnya dan dihubungkan dengan udara, plenum, pipa penyalur (conduits) dan lain-lain, akibatnya, jejak sampingan untuk transmisi bising tak dapat dihindari.

2. Banyak kebocoran bunyi yang tak kelihatan ada di instalasi sebenarnya sepanjang penembusan saluran atau pipa udara, sambungan, pinggir/tepi dan lain-lain, menyebabkan transmisi bising langsung.

3. Perbedaan yang besar ada dalam ukuran dinding-dinding yang diperiksa dan dalam karakteristik difusi dan absorpsi ruang-ruang yang berdampingan, dan menghasilkan perbedaan yang cukup besar dalam hasil-hasilnya.

4. Bising latar belakang berlebihan atau tidak tunak dapat ada di lapangan, dan merusak ketelitian pengukuran lapangan.

Semua kondisi dan keadaan ini mengurangi ketelitian dan keterandalan pengukuran lapangan dan menghasilkan kesan yang salah bahwa betapa banyakpun perhatian diberikan pada detail, penampilan akustik tiap partisi yang diukur di lapangan terikat untuk menjadi lebih rendah daripada penampilan akustik panel yang identik yang diukur di laboratorium.

Langkah-langkah berikut akan membantu menjamin bahwa penampilan akustik instalasi lapangan memenuhi kriteria yang ditetapkan dan memperbaiki kesesuaian antara pengukuran laboratorium dan pengukuran lapangan:

1. Pemasangan panel percobaan di laboratorium harus meniru kondisi pekerjaan sedekat mungkin.

2. Semua jejak untuk transmisi sampingan dan kebocoran dalam pemasangan lapangan harus dieliminasi atau paling sedikit direduksi sampai suatu minimum absolut.

3. Pengukuran lapangan harus dilakukan dalam ruang yang tak berperabot dan sebaiknya dengung, seluruhnya tertutup, dan dengan tingkat bising latar belakang yang rendah.

4. Pengukuran laboratorium dan lapangan untuk transmisi bising di udara dan benturan harus dilakukan sesuai dengan praktek sekarang yang disarankan oleh organisasi standardisasi yang besar, seperti the American Society for Testing and Materials (penunjukan ASTM E 90-66T dan E 336-67T) atau the International Organization for Standardization (ISO R 140-1960E).

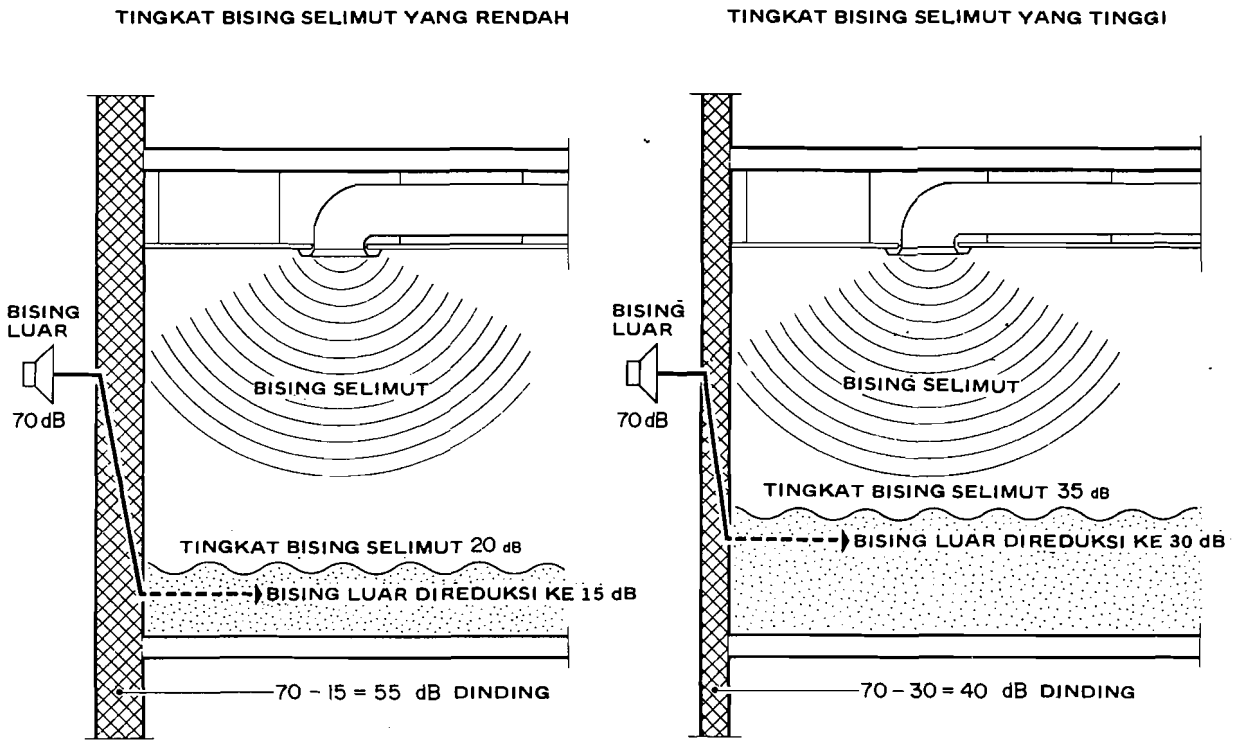
5. Hasil-hasil yang diperoleh dari pengukuran lapangan harus dinormalisasi ke acuan dasar yang sama seperti yang digunakan untuk pengukuran laboratorium.

Kendati perbedaan yang ditemukan antara pengukuran laboratorium dan lapangan, pengukuran lapangan merupakan alat yang penting dalam menilai penampilan akustik dinding-dinding. Ini berlaku terutama pada pemasangan lantai langit-langit yang secara tegar dihubungkan dengan struktur sekitarnya, yang menghasilkan jumlah jejak sampingan yang jauh lebih besar untuk bunyi benturan daripada di laboratorium, di mana pemasangan lantai langit-langit secara struktural terisolasi dari ruang penerima.

14.4 Konstruksi Bangunan Penginsulasi Bunyi

Dalam pemilihan konstruksi dinding atau lantai, biasanya tiga faktor harus diperhatikan: (1) tingkat bising yang ada atau diduga ada di daerah sumber atau ruang sumber, (2) tingkat bising latar belakang yang dapat diterima (atau diinginkan) di ruang penerima, dan (3) kemampuan dinding yang dipilih untuk mereduksi bising luar menjadi level yang dapat diterima.

Tingkat bising latar belakang yang dapat diterima (atau diinginkan) dapat dinyatakan dalam tingkat kriteria bising (NC), yang dinyatakan dalam *kurva kriteria bising* (noise criterion curves) (Bab 15). Sasarannya pada dasarnya adalah bahwa bagian bising eksterior yang ditransmisi, direduksi di bagian penerima tepat di bawah tingkat bising latar belakang, andaikan bising latar belakang ada di dalam jangkauan yang diperbolehkan atau dapat diterima. Sebagai contoh (Gambar 14.12), bila bising eksterior sebesar 70 dB harus direduksi di bawah tingkat bising latar belakang yang besarnya 20 dB sampai sekitar 15 dB dengan menggunakan sebuah partisi, maka partisi harus mempunyai nilai akustik (nilai STC) 70–15 = 55 dB. Gambar 14.12 juga menunjukkan bahwa bila tingkat bising latar belakang dapat dinaikkan sampai 35 dB dan bukan 20 dB, misalkan ini masih tetap di dalam jangkauan yang dapat diterima, maka partisi 40 dB yang lebih ekonomis (menggantikan 55 dB) akan menyebabkan bising yang ditransmisikan menjadi tak dapat didengar.



Gambar 14.12 Dengan tingkat bising-latar belakang yang relatif tinggi tetapi dapat diterima dalam suatu ruang, reduksi bising luar dapat dicapai dengan biaya yang lebih rendah.

Bising latar belakang adalah campuran beberapa bising yang ada dalam ruang yang tak ditempati yang ditimbulkan oleh alat-alat mekanis dan elektris dari bangunan, oleh lalu-lintas kendaraan di luar, oleh kegiatan umum di kantor dalam ruang-ruang yang berdampingan dengan ruang penerima, dan lain-lain. Dalam daerah pedesaan atau pinggiran kota bising latar belakang biasanya lebih rendah.

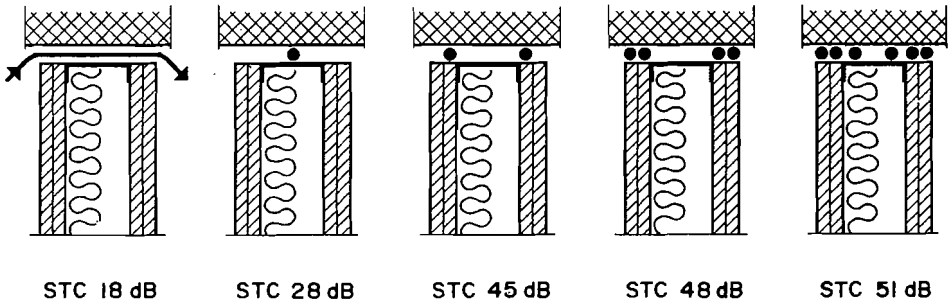
Umumnya diakui bahwa jumlah bising latar belakang yang cukup, atau bising selimut, bila dikendalikan secara baik (atau diproduksi secara buatan oleh alat-alat elektronik), akan menutup bising pengganggu lain, andaikan bahwa bising selimut adalah (1) kontinu, (2) tidak terlampau keras, (3) tidak menonjol, dan (4) tidak membawa informasi, seperti pembicaraan yang jelas atau musik yang dapat dikenal.

Bising selimut yang berlebihan akan merusak audibilitas atau inteligibilitas dengan menenggelamkan pembicaraan yang pelan, musik lembut, atau bunyi lain berintensitas sangat rendah yang ingin didengar, misalnya, dalam ruang demonstrasi.

14.4.1 Dinding Penampilan optimum sebuah dinding terhadap bising di udara hanya dapat diharapkan bila kondisi-kondisi berikut dipenuhi:

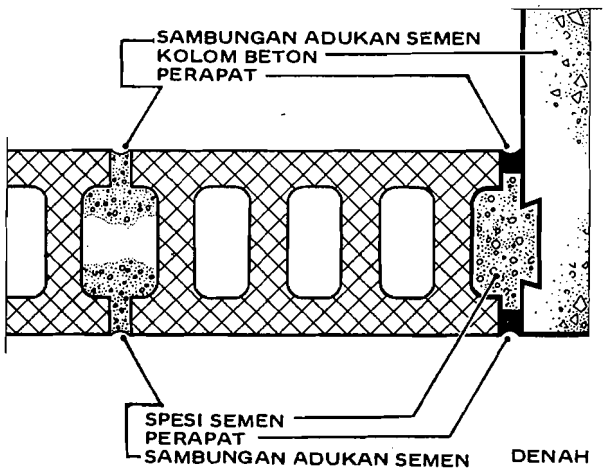
1. Dinding mempunyai massa yang cukup dan terdistribusi merata pada seluruh luasannya.
2. Dinding dibangun secara horisontal dan vertikal sebagai penghalang lengkap yang tak terputus.
3. Dinding tertutup secara efektif sekeliling tepinya (Gambar 14.13), antara elemen-elemennya, dan sekeliling bukaan yang dibuat untuk keluaran, tombol, dan lain-lain (Gambar 13.16).
4. Dinding dibangun dari papan struktural ke papan struktural, atau bila dikaitkan pada langit-langit gantung saja, maka langkah-langkah yang sesuai telah diambil untuk perbaikan akustik bagian yang hilang di atas langit-langit gantung.

Penutup (sealant) harus merupakan campuran dempul yang nonsetting, tidak mengelupas dan tidak mengeras; merekat saja tidak seefektif mendempul. Sambungan adukan semen yang

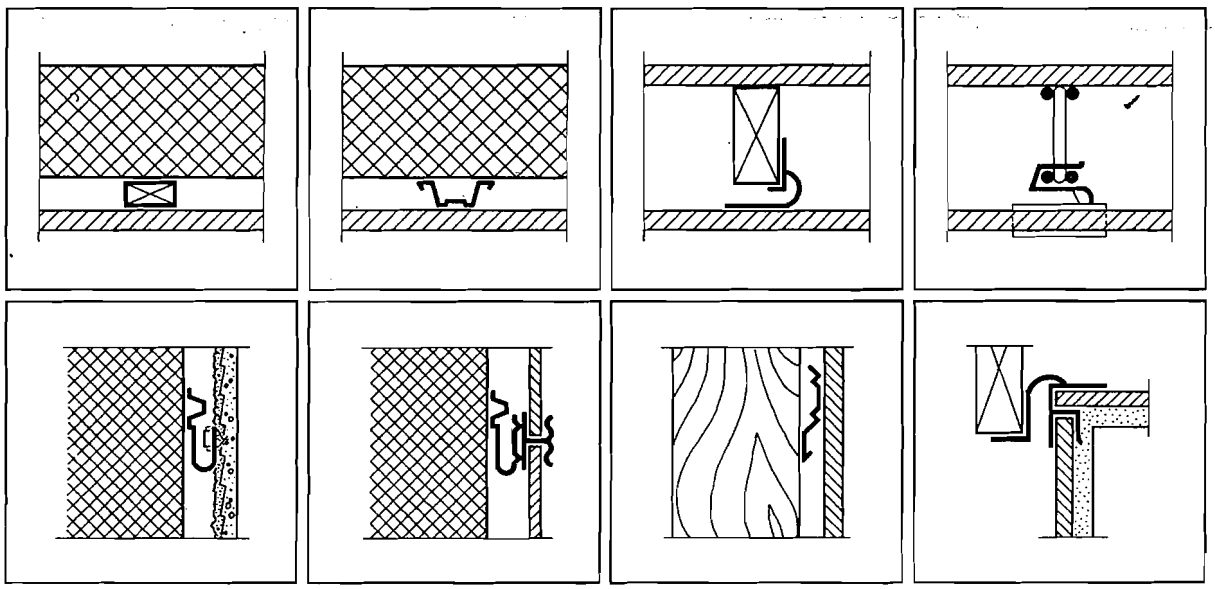


Gambar 14.13 Tes akustik yang dilakukan pada suatu partisi tembok-kering (tembok 45 pada Gambar B.7, Appendiks B) menunjukkan bahwa nilai STC partisi tembok kering banyak tergantung pada keefektifan pendempulan sekeliling tepi-tepi.

encer (loose) dan kosong harus dihindari dengan teliti dalam konstruksi dinding batu karena mereka menghasilkan kebocoran bising (Gambar 14.14). Bila tak ada plesteran yang ditetapkan untuk dinding batu, maka permukaan luarnya harus dicat, kalau mungkin dengan dua lapisan. Papan gypsum yang digunakan dalam konstruksi dinding kering harus ditutup dan diplester dengan hati-hati.



Gambar 14.14 Penutupan sambungan horisontal dan vertikal secara kedap udara dalam konstruksi batu-batuan tak dapat dihindari pada penginsulasian bunyi yang efektif.

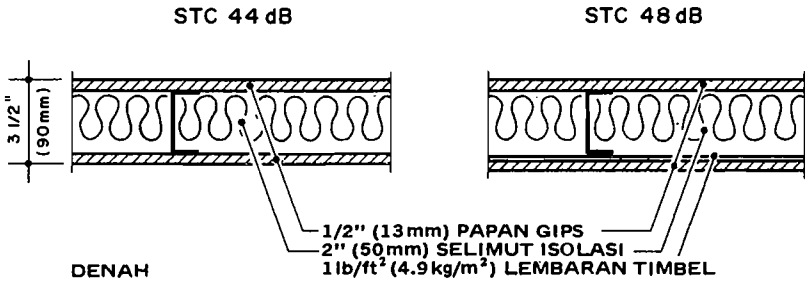


Gambar 14.15 Aplikasi sambungan semi-elastik yang praktis pada dinding ganda, menyumbang 2 sampai 5 dB pada nilai STC partisi.

Bila insulasi dalam derajat tinggi dibutuhkan, maka berat partisi lembaran tunggal perlu digandakan untuk mengadakan perbaikan dalam nilai STC-nya sekitar 5 sampai 6 dB, jadi penggunaan partisi rangkap di sini dianjurkan. Partisi rangkap harus mencakup sebanyak mungkin sifat yang berguna yang digambarkan dalam Gambar 14.3. Lapisan elastik (papan serat, glass-fiber board dan lain-lain), pemasangan semi elastik, atau jepitan elastik antara lapisan individual dan kerangka dalam atau inti dinding sangat disarankan. Elemen-elemen ini tidak mahal, tidak membutuhkan banyak pekerjaan, dan menyumbang sekitar 2 sampai 5 dB pada nilai STC dinding rangkap (Gambar 14.15).

Tiap usaha harus dibuat untuk menambah berat dinding tanpa membuatnya terlampau kaku. Seperti telah disebutkan sebelum ini, kekakuan dinding cenderung menentang pengaruh akustik yang menguntungkan dari massa dan dari pemisahan antara lapisan-lapisan individual dinding. Menggunakan lembaran timah, bahan yang relatif berat dan lemas, dalam dinding dan lantai disarankan untuk menambah beratnya tanpa merusak partisi karena menjadi kaku (Gambar 14.16).

Appendiks B mencakup informasi akustik arsitektur sejumlah konstruksi dinding yang berguna.



Gambar 14.16 Lembaran timah hitam memperbaiki insulasi bunyi partisi.

14.4.2 Lantai dan Langit-langit Kalau bising di udara terutama harus diisolasi oleh dinding, konstruksi lantai yang efisien secara akustik harus menyediakan cukup perlindungan terhadap bising di udara dan bising benturan. Sebuah lantai dengan karpet tebal yang cukup mereduksi bising benturan tidak perlu memuaskan terhadap bising di udara. Sebaliknya, balok beton yang tebal dan polos yang memberi insulasi yang cukup terhadap bising di udara tidak akan menyediakan cukup perlindungan terhadap bising benturan yang berasal dari ruang di atasnya.

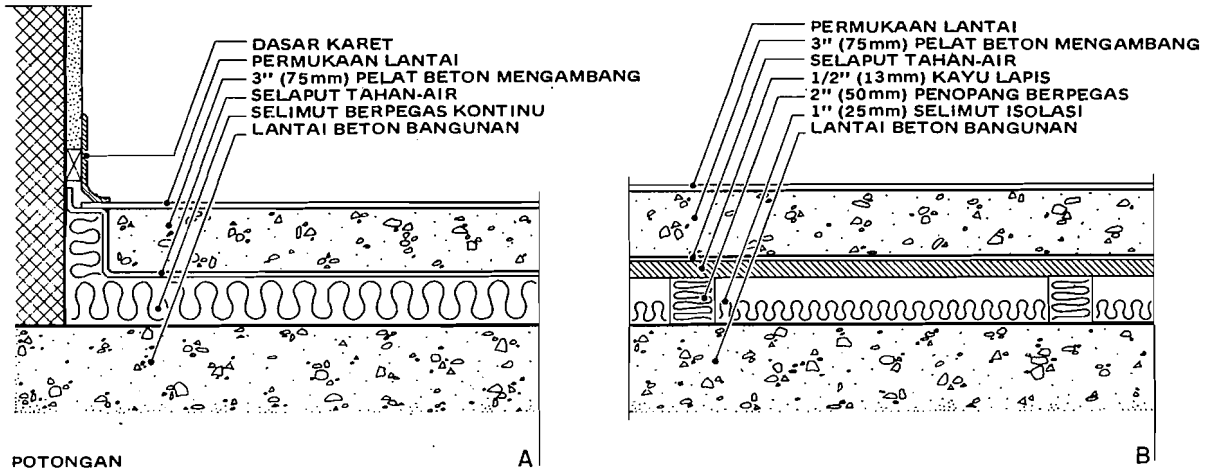
Insulasi bunyi lantai dapat diperbaiki dengan cara-cara sebagai berikut:

1. *Permukaan elastik* yang lembut, seperti karpet, tegel gabus, karet, atau tegel vinyl, banyak memperbaiki insulasi bising benturan dari lantai tetapi hanya menyediakan sedikit insulasi terhadap bising di udara.
2. *Lantai yang menyambung* banyak memperbaiki insulasi bunyi terhadap bising di udara dan bising benturan.
3. *Langit-langit gantung* yang tegar memperbaiki insulasi terhadap bising di udara dan bising benturan, keberhasilannya (the extent) tergantung pada berat langit-langit gantung dan derajat penenangnya (resiliency) dengan mana langit-langit dikaitkan pada bangunan lantai.

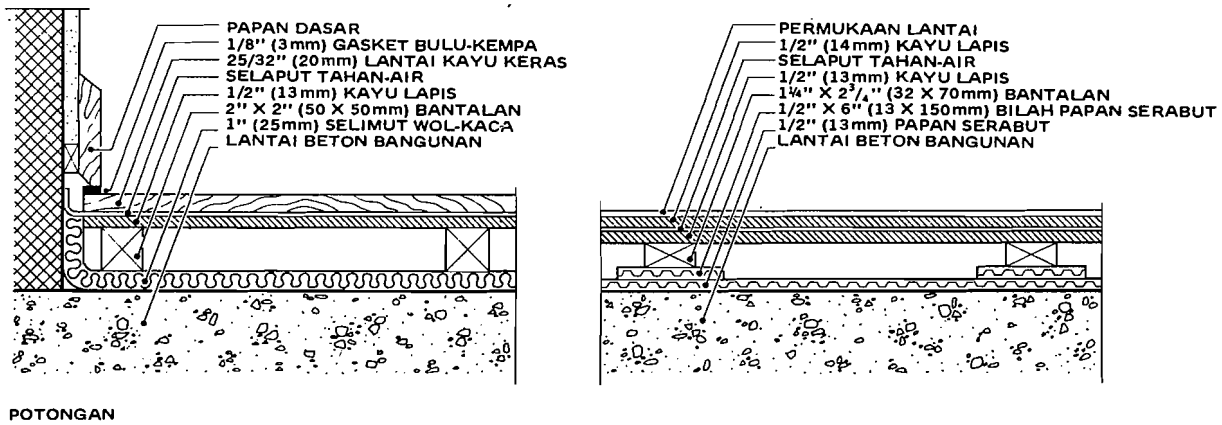
Lapisan keras, tegar di atas lantai beton, seperti kayu, linoleum, tegel vinyl-asbestos, tegel asphalt, dan lain-lain tidak memperbaiki insulasi bunyi benturan lantai. Bilamana memungkinkan, meletakkan karpet (Bab 5) tanpa perlu dipermasalahkan merupakan langkah paling baik untuk mengeliminasi bising benturan (langkah kaki).

Lantai mengambang dapat ditunjang oleh lapisan selimut penenang (resilient) yang kontinu, pasangan penenang, atau sleepers, yang berada pada sebuah selimut penenang atau dibawa dalam wadah penenang (resilient chairs) (Gambar 14.17 dan 14.18).

Dalam semua kasus, pasangan lantai mengambang berada di atas balok struktural. Lantai kayu yang mengambang harus dipaku dengan teliti pada sleepers penyangganya saja, agar tidak menghubungkan singkat (short-circuit) selimut penenang di bawah sleepers. Balok beton



Gambar 14.17 Lantai beton mengambang yang ditunjang oleh (A) lapisan selimut penenang yang kontinu dan (B) pasangan penenang yang didistribusikan.

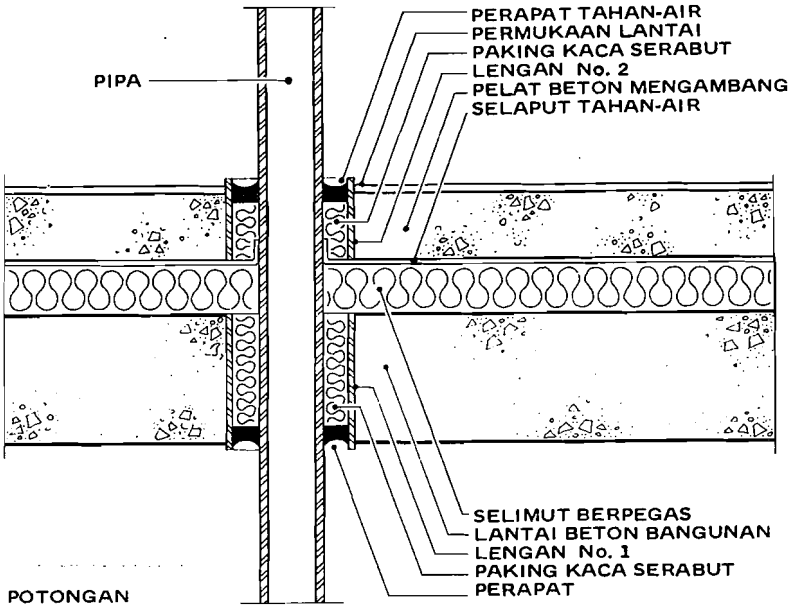


Gambar 14.18 Lantai kayu mengambang yang ditunjang oleh sleeper yang dipasang sebagai penenang.

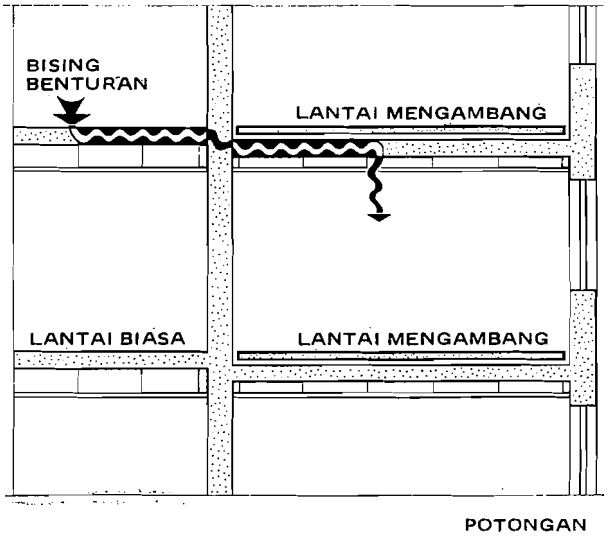
mengambang tebalnya harus paling sedikit 3 in (75 mm), di atas selimut yang cukup elastik. Balok beton mengambang adalah lebih efektif dari lantai kayu mengambang.

Untuk mencapai efisiensi maksimum adalah penting untuk tidak hanya menyediakan pemisah akustik yang konsisten dan tak terputus antara lantai mengambang dan balok struktural, tetapi juga untuk menghindari tiap kontak tegar antara lantai mengambang dan dinding-dinding keliling. Selimut penenang di bawah balok mengambang harus dilindungi dengan baik oleh selaput/membran tanah air (roofing felt atau polyethylene) terhadap kelembaban yang berasal dari tuangan balok mengambang. Perlindungan selaput tahan air (oleh plywood) juga dapat diperlukan terhadap kerusakan hebat seperti terjadinya pemecahan/proses pecah selama penuangan dan penekanan beton. Sekali luas dari balok beton mengambang melampaui 130 sampai 150 ft persegi (12 sampai 14 meter persegi) maka rongga ekspansi pemuaian dan balok penekanan yang cukup harus disediakan. Semua pipa, saluran udara, conduits, dan lain-lain, yang menembus lewat lantai harus diisolasi sekelilingnya untuk menghindari hubungan singkat antara bangunan lantai (structural floor) dan balok mengambang (Gambar 14.19).

Bila lantai mengambang digunakan untuk melindungi daerah tertentu terhadap bising benturan dari atas, maka adalah penting untuk meyakinkan bahwa tidak ada bising benturan yang masuk daerah yang dilindungi lewat jejak lain (Gambar 14.20).



Gambar 14.19 Pipa-pipa yang menembus lewat lantai mengambang harus dilapisi dan diisolasi secara akustik untuk menghindari hubungan-singkat.



Gambar 14.20 Bising benturan yang ditimbulkan pada lantai yang tak diatur secara akustik dapat mencapai daerah-daerah yang dilindungi oleh lantai mengambang terhadap bising benturan yang datang dari atas.

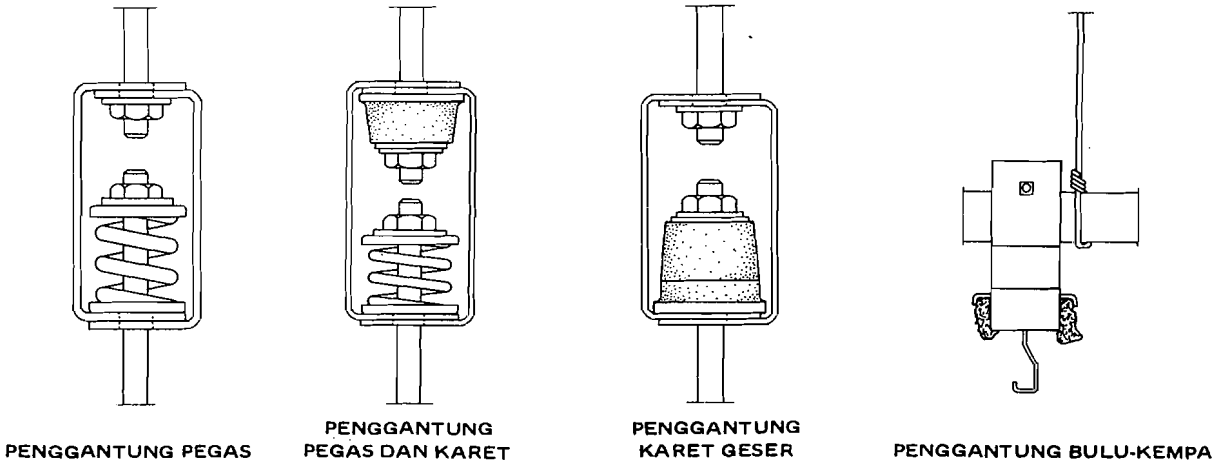
Langit-langit gantung yang dilekatkan pada lantai struktural banyak menyumbang pada insulasi bunyi lantai terhadap bising di udara dan bising benturan. Untuk menambah daya gunanya saran-saran berikut harus diperhatikan:

1. Selaput langit-langit harus mempunyai berat tidak kurang dari 5 lb per ft persegi (25 kg per meter persegi). Bila selimut penyerap (mineral wool atau glass wool) digunakan di ruang udara di atas langit-langit, berat selaput langit-langit dapat sedikit dikurangi.
2. Selaput langit-langit tidak boleh terlampau tegak.
3. Jejak langsung transmisi bising lewat langit-langit harus dihindari dengan menggunakan selaput padat atau kedap udara.
4. Celah antara langit-langit dan bangunan/kerangka sekelilingnya harus ditutup, jadi menghindari penembusan bising lewat jejak langsung di udara.
5. Ruang udara antara selaput langit-langit dan kerangka lantai harus ditambah sampai maksimum yang tepat, dan sebuah selimut isolasi diletakkan di ruang udara.
6. Jumlah titik gantung dari kerangka lantai atas harus direduksi ke suatu minimum. Penggantung elastik lebih disukai daripada penggantung tegar.

Bila suatu langit-langit gantung digunakan untuk memperbaiki insulasi bunyi lantai lewat udara atau bunyi benturan, pemakaian langit-langit akustik ringan dan menyerap bunyi tetapi

tembus bunyi tak ada gunanya dan harus dihindari. Selaput langit-langit harus terdiri dari lapisan plesteran semen padat yang minimum $^3/_4$ in (20 mm) dengan sambungan yang tertutup secara rapat (didempul) sekelilingnya. Bila reduksi bising yang tak diinginkan dalam ruang yang terisolir dari bunyi-bunyi dibutuhkan, maka pemasangan lapisan penyerap bunyi sepanjang sisi bawah selaput langit-langit padat harus dipertimbangkan.

Gambar 14.21 menunjukkan bermacam-macam penggantung yang digunakan pada langit-langit yang digantung secara resilient. Suatu pemisahan semi resilient antara kerangka lantai dan langit-langit gantung, yang diperoleh dengan menggunakan penjepit "resilient", tidak membantu hampir seefektif insulasi bunyi pasangan lantai langit-langit seperti penggantung resilient sepenuhnya (Gambar 14.21).



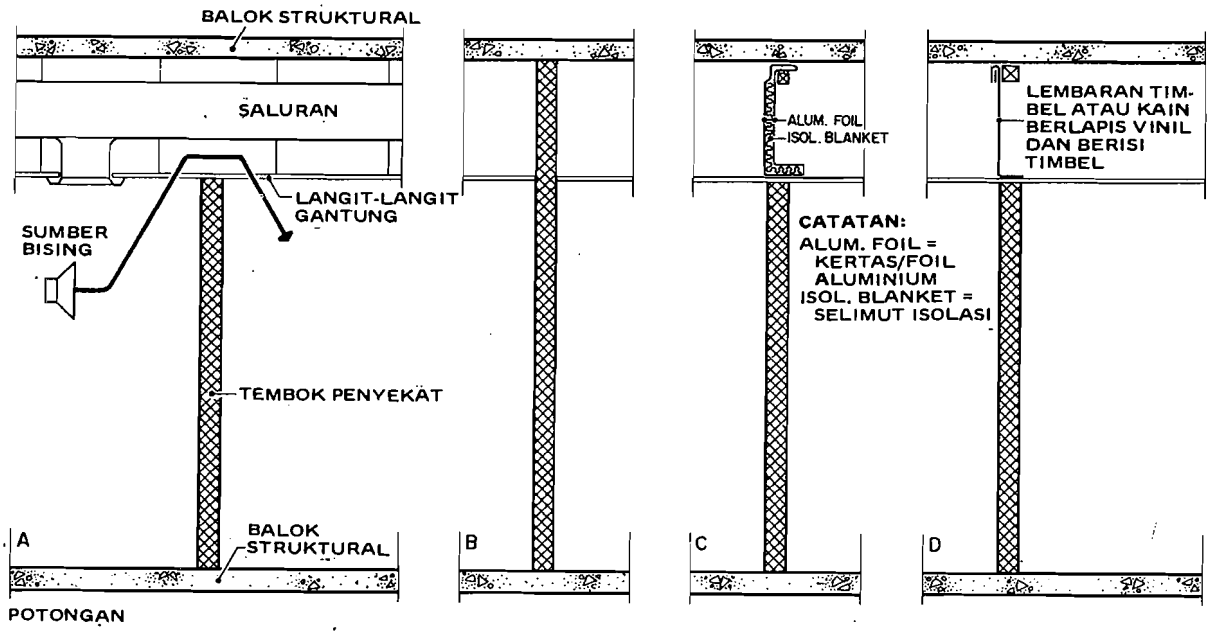
Gambar 14.21 Jenis-jenis penggantung yang digunakan pada langit-langit yang digantung secara elastik.

Dinding yang dibangun hanya sampai ketinggian langit-langit gantung mengalami reduksi TL yang banyak. Pengusaha macam-macam pasangan langit-langit gantung nampaknya tidak cukup awas akan reduksi ini. Ini dapat dimengerti karena tiap keberatan terhadap penampilan akustik yang berkurang dari langit-langit gantung, akan meruntuhkan keluhan pengusaha untuk fleksibilitas dan pelepasan (demountability) yang lengkap. Karena itu penting bahwa ruang antara langit-langit gantung dan kerangka soffit, di atas garis dinding partisi, ditutup dengan baik (Gambar 14.22).

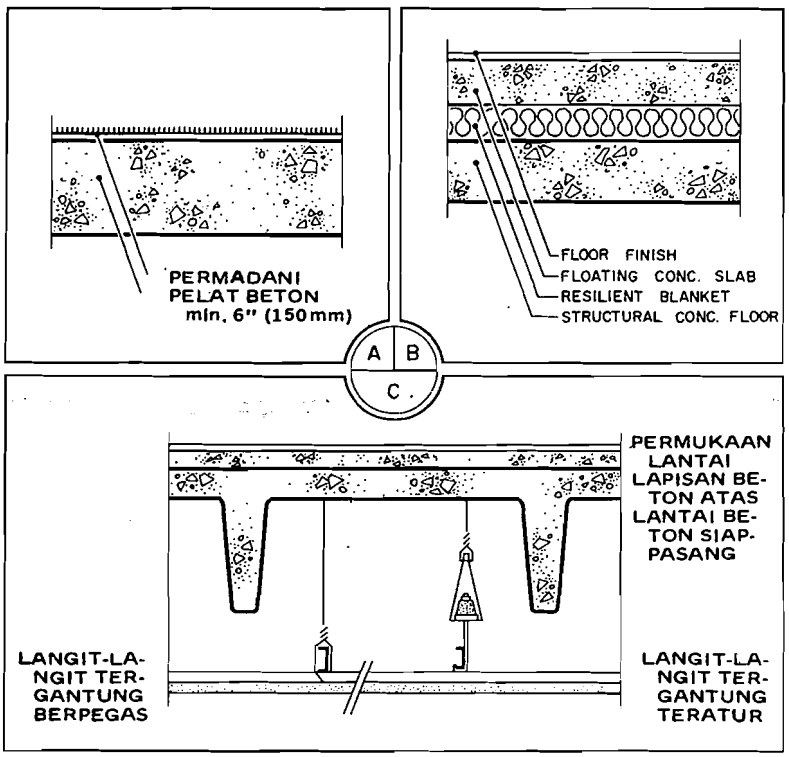
Adalah gejala akustik yang menarik bahwa transmisi bising lewat plenum di atas langit-langit gantung agak sukar dideteksi. Ini disebabkan oleh apa yang disebut *efek Haas;* yaitu, bila bunyi pembicaraan yang sama diterima dari dua arah, maka bunyi yang tiba mula-mula menentukan arah yang jelas (apparent). Dalam kasus ini, bila bunyi pembicaraan dapat merambat serentak lewat penyekat dan lewat plenum di atas langit-langit gantung, maka penyekat memberikan jejak yang lebih pendek untuk bunyi dan ia karena itu muncul sepertinya bunyi di atas lewat penyekat; jadi menciptakan kesan bahwa penyekat adalah pentransmisi (transmitter) bising dan bukan langit-langit.

Bulletin tahunan the Acoustical and Insulating Materials Association (Park Ridge, Ill) memuat faktor atenuasi bising kebanyakan langit-langit akustik gantung yang digunakan di Amerika Utara.

Gambar 14.23 meringkas petunjuk-petunjuk yang dibahas sejauh ini untuk memperbaiki insulasi bunyi lewat udara dan bunyi benturan dari lantai beton yang dicor di tempat (cast-in-place) dan yang dicor sebelumnya. Pilihan A menunjukkan bahwa bila tak ada langit-langit gantung yang digunakan, maka pemakaian balok beton yang berat dengan tebal paling sedikit 6 in (150 mm) atau 72 lb per feet persegi (350 kg per meter persegi) dengan karpet, dalam banyak kasus memberi insulasi yang cukup. Pilihan *B* menggambarkan penggunaan lantai beton mengambang dengan tebal minimum 3 in (75 mm) tanpa langit-langit gantung tambahan



Gambar 14.22 Untuk menghindari transmisi bising di atas partisi yang dibangun sampai ketinggian langit-langit gantung (A), tembok harus dibangun sampai balok struktural atas (B), atau penghalang bunyi yang cocok harus dipasang di ruang-ruang langit-langit di atas partisi (C, D).



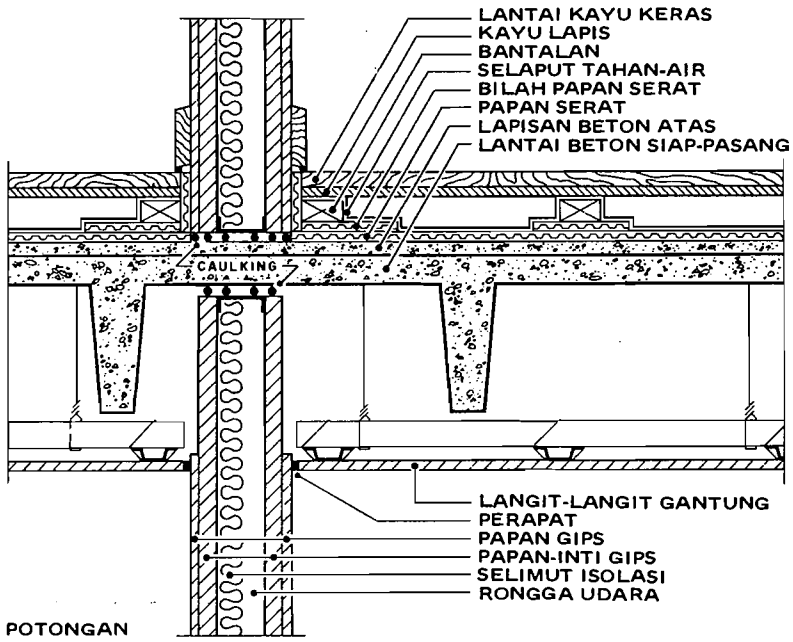
CATATAN:
FLOOR FINISH = PERMUKAAN LANTAI
FLOATING CONC. SLAB = PELAT BETON MENGAMBANG
RESILIENT BLANKET = SELIMUT BERPEGAS
STRUCTURAL CONC. FLOOR = LANTAI BETON BANGUNAN

Gambar 14.23 Gambaran sederhana dari langkah-langkah perlu untuk memperbaiki insulasi bunyi lantai beton terhadap bising di udara dan bising benturan: (A) dengan menggunakan karpet di atas balok beton yang cukup tebal dan berat; (B) dengan menggunakan lantai mengambang; (C) dengan menggunakan langit-langit yang digantung secara biasa atau secara elastik di bawah balok struktural yang sangat tipis dan ringan.

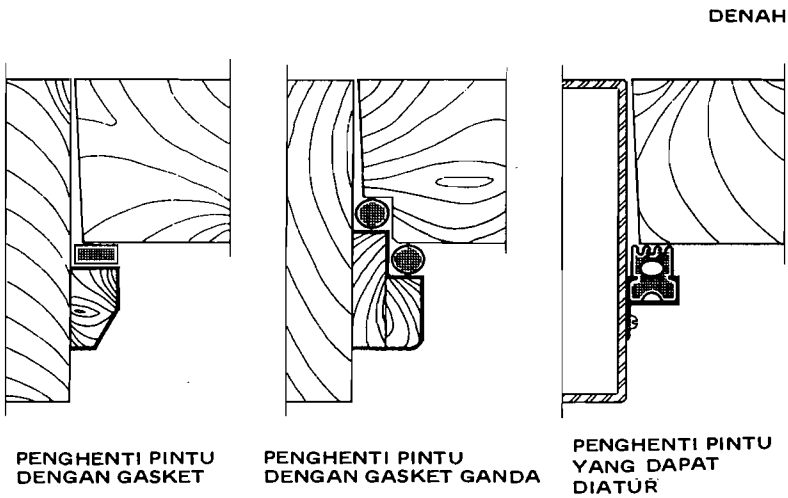
di bawah lantai. Pilihan *C* menunjukkan penggunaan langit-langit gantung yang dipasang secara teratur dan secara elastik di bawah balok beton yang sangat tipis dan ringan (siap pakai atau pratekan), tergantung pada derajat privasi yang harus dicapai.

Gambar 14.24 menunjukkan pemakaian lantai kayu mengambang yang praktis dan langit-langit yang digantung secara biasa (regularly) dalam apartemen bangunan untuk memperbaiki insulasi bunyi lantai beton siap pakai (prefabricated).

Appendiks C memuat informasi akustik arsitektur sejumlah konstruksi lantai yang berguna.



Gambar 14.24 Aplikasi lantai kayu mengambang yang praktis dan langit-langit yang digantung secara biasa di bangunan apartemen untuk memperbaiki insulasi bunyi lantai beton siap pakai yang kurang memadai.

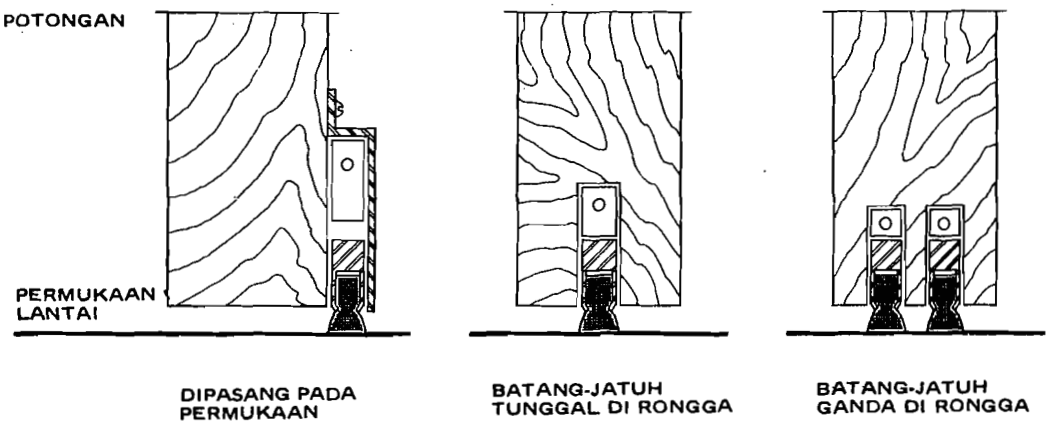


Gambar 14.25 Penghenti pintu yang digunakan pada jenang (kosen) dan kepala pintu penginsulasi-bunyi.

14.4.3 Pintu dan Penyekat Yang Dapat Dipindahkan Secara akustik, pintu merupakan elemen dinding yang lemah karena (1) berat permukaannya biasanya kurang dari berat dinding di mana pintu itu dipasang, (2) celah sekitar tepi-tepinya, kecuali ditutup, merupakan jalanan yang mudah bagi transmisi bising, dan (3) mereka jauh lebih kecil dari partisi rata-rata, akibatnya resonansi frekuensi rendahnya terjadi pada jangkauan spektrum frekuensi audio yang lebih kritis.

Pintu-pintu penginsulasi bunyi harus mempunyai konstruksi inti yang padat dan berat (dan bukan berongga dan ringan), dengan semua tepi tertutup rapat. Pintu kayu yang ringan dan berongga secara dimensional tidak stabil dan dapat membengkok, merusak penutup sepanjang tepi pintu. Karet, karet busa atau pita plastik busa, penghenti yang dapat diatur atau yang dapat mengatur sendiri, dan lem (gaskets) dapat digunakan untuk menutup tepi-tepi pintu (Gambar 14.25). Mereka harus dipasang sedemikian hingga mereka agak dikompresi antara pintu dan penghenti bila pintu ada dalam posisi tertutup. Dalam kasus-kasus sederhana tepi bawah dapat mempunyai pita yang dapat diganti atau bulu atau karet busa dilekatkan untuk membuat celah antara pintu dan lantai sekecil mungkin. Pilihan yang lebih efektif adalah memasang kerangka pengucil batang jatuh (drop-bar draft excluders), yang disebut *automatic threshold closers* (penahan penutup otomatis) (Gambar 14.26).

Bila pintu harus mempunyai insulasi bunyi yang sangat tinggi, maka mereka dibangun



Gambar 14.26 Penahan penutup batang-jatuh otomatis yang digunakan untuk pintu penginsulasi bunyi.

agar pemisahan antara kedua permukaan pintu terjadi tanpa terputus dari tepi ke tepi pada kedua arah, dan selain itu, lapisan peredam disisipkan antara masing-masing lapisan pintu. Pintu biasa dengan permukaan bantalan kulit tidak membantu dalam mereduksi bising di udara antara ruang sumber dan ruang penerima; mereka memberi penyerapan yang sangat kecil hanya dalam ruang yang menghadap bantalan kulit.

Penggunaan penutup pintu otomatis disarankan bilamana memungkinkan dan dapat digunakan, untuk menghindari bunyi mengganggu dari bantingan pintu. Demikian pula bel pintu lebih disukai daripada pengetuk pintu.

Dalam penilaian akustik pintu penginsulasi bunyi, perbedaan harus dibuat antara nilai panel dan nilai operasi dari penilaian STC-nya. Nilai-nilai panel diperoleh bila pintu diperiksa dengan tepi-tepi yang ditutup secara rapat. Nilai operasi (selalu lebih rendah dari nilai panel) yang diperoleh dari percobaan yang meniru kondisi pemasangan lapangan dalam segala hal mencerminkan penampilan akustik yang lebih realistik.

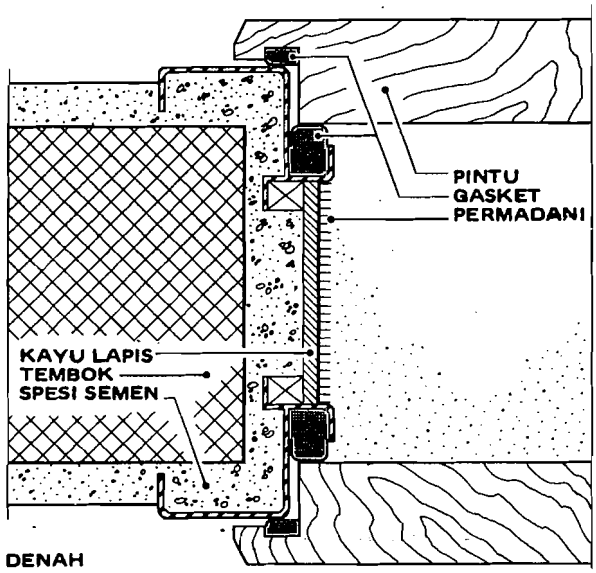
Pintu selalu mengurangi TL keseluruhan dari dinding-dinding di mana mereka dipasang (Gambar 14.8). Untuk menjaga reduksi ini pada suatu minimum, disarankan agar perbedaan antara TL dinding dan TL pintu tidak lebih dari 5 sampai 10 dB. Gambar 14.27 menggambarkan pintu ganda penginsulasi bunyi dengan kerangka baja dan penyerapan keliling antara pintu-pintu. Gambar 14.28 membandingkan diagram TL bermacam-macam konstruksi pintu.

Dalam bangunan apartemen, kantor-kantor dan gedung pendidikan di mana ruang-ruang ditempatkan sepanjang kedua sisi serambi/lorong, pintu harus diselang-seling supaya bising dari satu ruang tidak menembus secara langsung ke dalam ruang lain (Gambar 14.29). Pintu-pintu selang-seling memberi jarak yang lebih panjang pada bunyi untuk merambat supaya gelombang bunyi diserap dalam serambi sampai suatu tahap tertentu sebelum mencapai ruang-ruang di dekatnya.

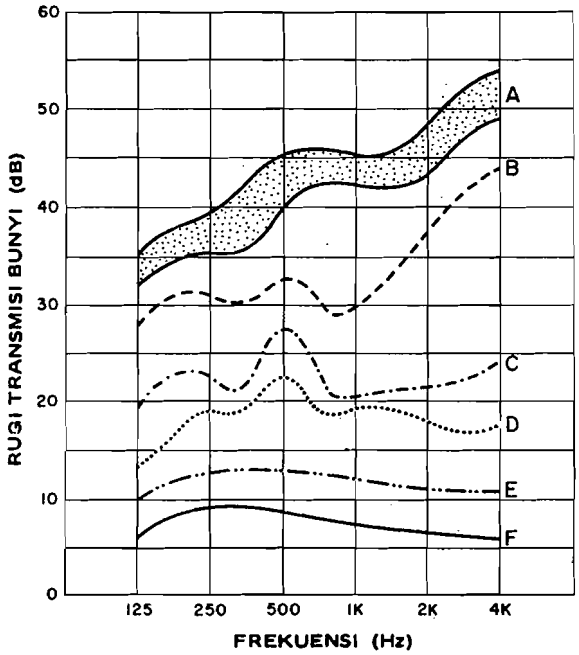
Bila privasi akustik dengan derajat yang sangat tinggi dibutuhkan untuk suatu ruang, kebutuhan akan pintu penginsulasi bunyi yang sangat efektif dan mahal dapat dihindari dengan menggunakan dua pintu penginsulasi bunyi yang sedang, atau pengunci bunyi (Gambar 14.30). Semua dinding, lantai dan permukaan langit-langit dalam pengunci bunyi (sound lock) harus dibuat menyerap bunyi, agar transmisi bising lewat pengunci bunyi mencapai atenuasi maksimum.

Dalam auditorium, ruang kelas, ruang sidang, hotel, motel dan lain-lain, penggunaan ruang-ruang besar yang luwes dan yang peka secara akustik sering membutuhkan penggunaan pembagi ruang atau *penyekat yang dapat dipindah.* Ini merupakan pintu lipat yang besar, pintu geser, atau pintu side-coiling yang menyediakan bermacam derajat insulasi bunyi antara ruang-ruang yang terpisah.

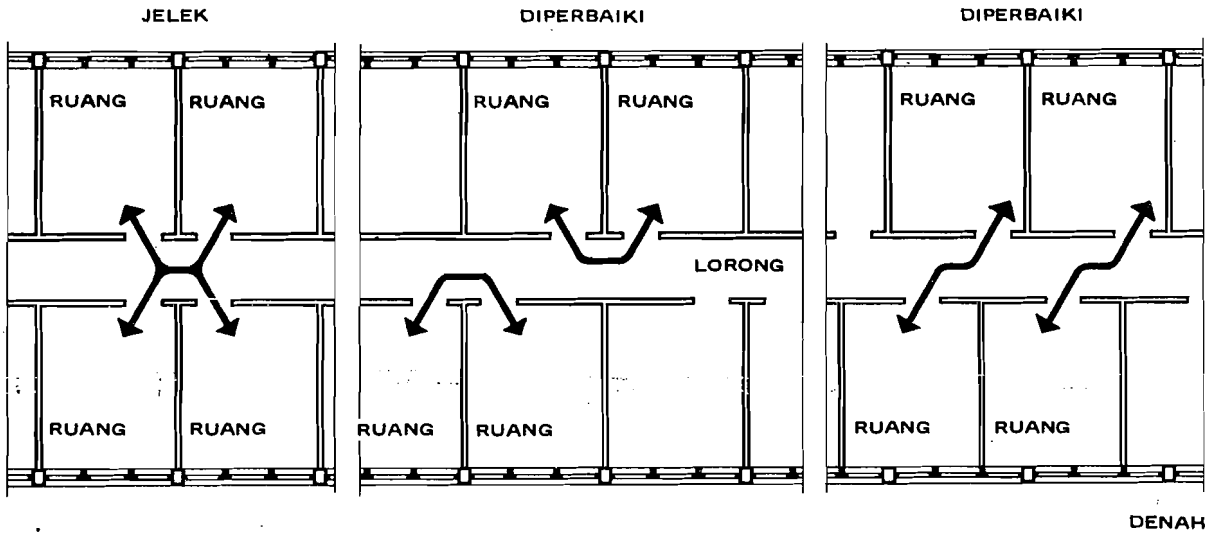
Selain persyaratan yang dijelaskan dalam Bab 5.9, tergantung pada fungsi dasar yang harus mereka penuhi, penyekat yang dapat dipindah harus memenuhi persyaratan-persyaratan berikut:



Gambar 14.27 Pintu ganda penginsulasi bunyi dengan kerangka baja dan penyerapan sekelilingnya.

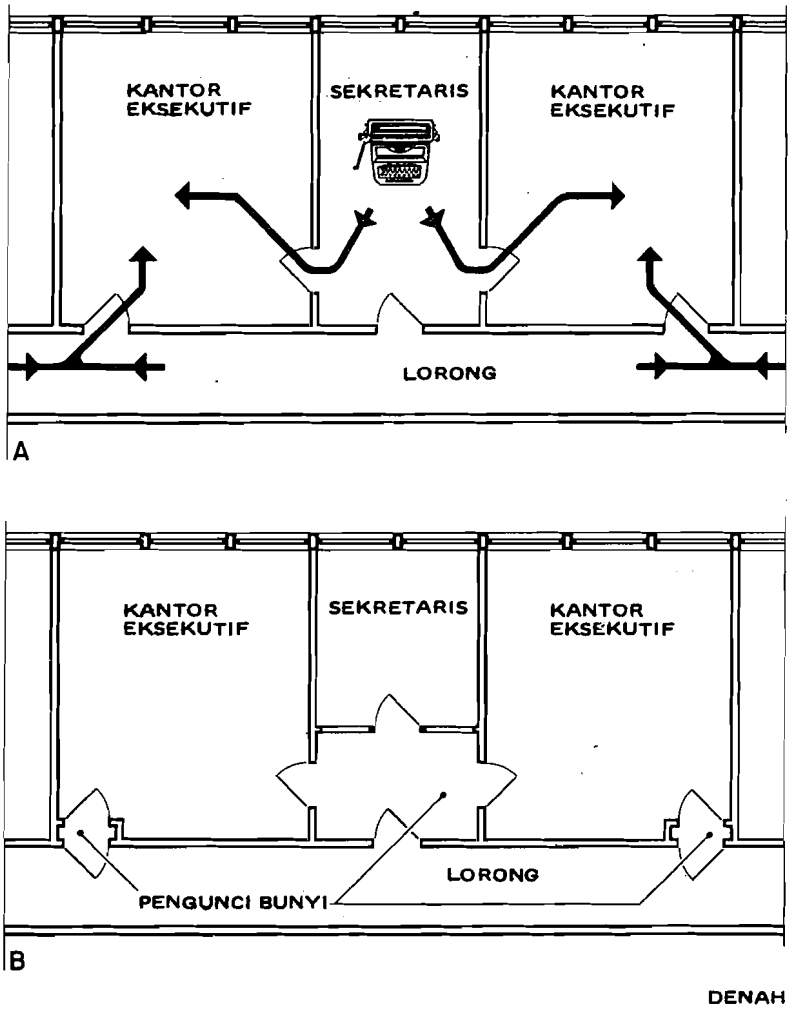


Gambar 14.28 Diagram TL berbagai konstruksi pintu: (A) pintu tahan bunyi (penyebaran nilai TL); (B) pintu inti padat yang direkat; (C) pintu inti-kosong yang direkat; (D) pintu inti-kosong yang tak direkat; (E) pintu berkisi (25) persen terbuka); (F) pintu terbuka.



Gambar 14.29 Pintu yang diselang-seling membantu secara efektif pada privasi akustik ruang-ruang yang ditempatkan sepanjang kedua sisi lorong.

1. Mereka harus menggabungkan pemisahan visual dengan privasi akustik sampai derajat yang dibutuhkan.
2. Mereka harus mampu membagi suatu daerah menjadi dua atau lebih ruang, dengan mudah dan cepat, tanpa bantuan tenaga tambahan.
3. Mereka harus membutuhkan pemeliharaan dan pelayanan yang minimum.
4. Bentuknya harus cocok dengan tiap ketidakteraturan yang tak dapat dihindari dalam lantai tanpa kerugian efisiensi akustik.
5. Elemen (panel) tidak boleh membengkok atau memuntir, meskipun dalam kondisi temperatur dan kelembaban yang kurang baik.
6. Penutup bagian bawah tidak boleh merusak lantai yang dilapisi (atau diberi karpet).



Gambar 14.30 Pintu-pintu biasa (A) secara sungguh-sungguh mereduksi kualitas akustik tembok-tembok penginsulasi bunyi sekeliling kantor-kantor eksekutif. Untuk menghindari penggunaan pintu penginsulasi bunyi yang mahal, pengunci bunyi (B) dapat digunakan.

7. Elemen-elemen, bila ditarik masuk, tidak boleh membutuhkan daerah penyimpanan yang memakan tempat.

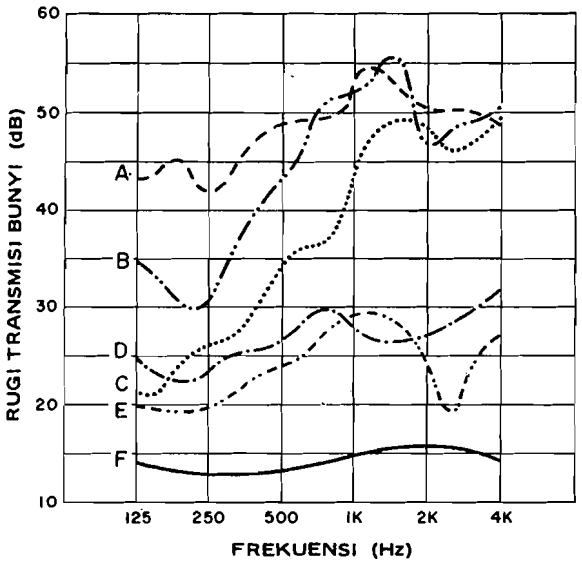
8. Lapisan permukaan elemen-elemen harus memberi keragaman yang baik bagi dekorator interior ruang yang diperhatikan.

Penampilan akustik dari partisi yang dapat dipindah meliputi jangkauan yang luas, dan penilaian STC-nya dapat mencapai sebesar 55 dB.

14.4.4 Jendela Seperti halnya pintu, jendela merupakan komponen yang lemah dalam tembok eksterior dan dinding karena berat permukaannya ada jauh di bawah berat permukaan tembok eksterior dan hubungannya dengan dinding tersebut, kecuali ditutup dengan baik, memungkinkan jejak langsung bagi penembusan bising eksterior. Walaupun demikian, jendela memberikan beberapa keuntungan akustik dengan memperbolehkan bising selimut eksterior memasuki bangunan, dengan demikian menutupi beberapa bising yang dapat datang lewat dinding-dinding yang berdampingan (adjoining) atau lantai.

TL jendela tergantung pada jumlah, tebal dan posisi relatif dari kaca jendela dan pada sambungan tepinya pada tembok (Gambar 14.31). Kaca ganda, tepi-tepi yang tertutup dengan baik, dan jarak minimum sebesar 4 sampai 5 in (100 sampai 125 mm) antara kaca-kaca tersebut merupakan ciri/keistimewaan dasar dari jendela penginsulasi bunyi.

Bila derajat insulasi bunyi yang tinggi diharapkan dari jendela, konstruksi kaca ganda atau rangkap tiga lebih disukai daripada kaca tunggal yang sangat tebal. Jarak antara kaca-kaca mempunyai efek yang berbeda pada TL jendela, terutama pada frekuensi rendah, dan TL membaik dengan bertambahnya jarak antara kaca-kaca (Gambar 14.31). Bila jarak yang cukup



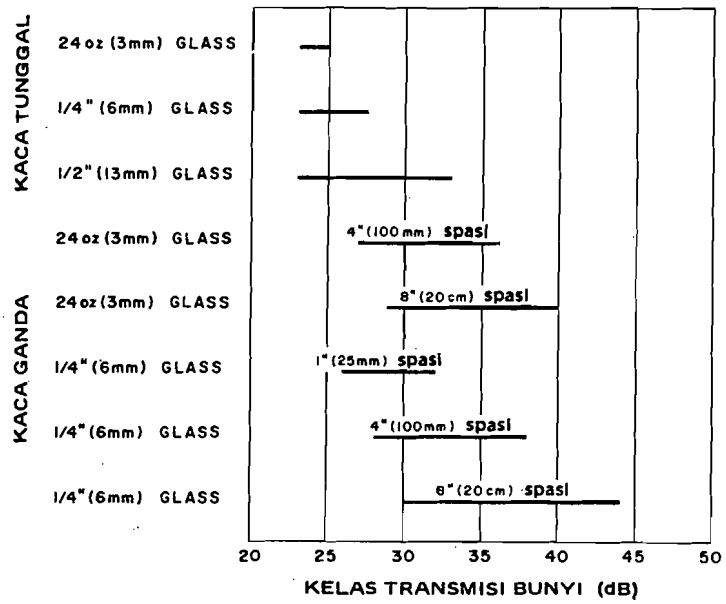
Gambar 14.31 Nilai-nilai TL berbagai konstruksi jendela dengan tepi yang ditutup dan diberi pelindung terhadap cuaca: (A) jendela ganda, pelat gelas ½-inci (13 mm) dan rongga udara 8 inci (20 cm); (B) jendela ganda, kaca 24-oz (3 mm) dan ruang udara 8 inci (20 cm); (C) jendela ganda, kaca 24-oz (3 mm) dan rongga udara 4 inci (100 mm); (D) jendela tunggal, pelat gelas ½-inci (13 mm); (E) jendela tunggal, kaca 24-oz (3 mm); (F) jendela terbuka. Semua jendela ganda (A, B, dan C) mempunyai bukaan penyerap bunyi.

antara kaca-kaca tak dapat diadakan, maka dianjurkan untuk menambah tebalnya, yaitu berat kaca-kaca. Gambar 14.32 menunjukkan jangkauan insulasi bunyi jendela berkaca tunggal dan jendela berkaca ganda.

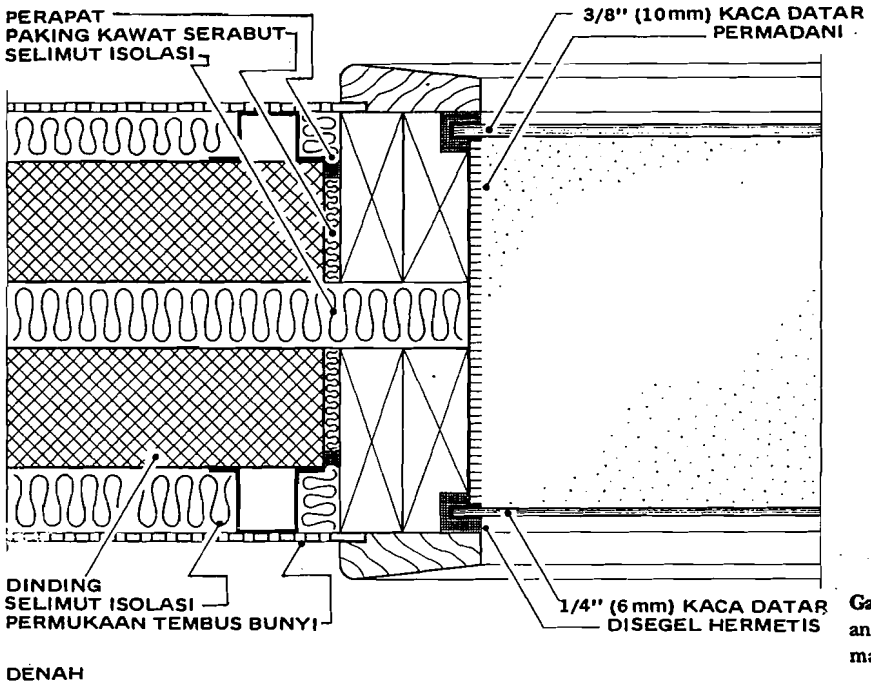
Dalam bangunan yang dikondisi udaranya, TL jendela-jendela tetap dengan kaca rangkap dua yang tebal serta terpisah dengan baik dan secara struktural terisolasi satu terhadap yang lain, dapat mendekati TL dinding yang mengelilinginya.

Menambahkan lapisan penyerap bunyi sekeliling tepi antara kaca-kaca, memasang kaca-kaca dalam bahan elastik (gabus, bulu, busa, karet, neoprene dan lain-lain), dan menghilangkan keadaan paralel antara kaca-kaca jendela akan menghasilkan pertambahan TL jendela yang cukup besar. Tiap kaca harus mempunyai tebal yang berbeda-beda atau berat per satuan luasan untuk mengeliminasi kopling akustik dan resonansi. Cara-cara untuk menambah kualitas penginsulasi bunyi jendela dipakai dalam pemasangan pengendalian dan pengamatan jendela-jendela di studio radio, studio televisi dan studio rekaman (Gambar 14.33).

Jendela yang cukup baik menahan bunyi dan dibuat terutama untuk tujuan insulasi termis dapat diperoleh di pasar (Twindow, Thermopane, dan lain-lain).

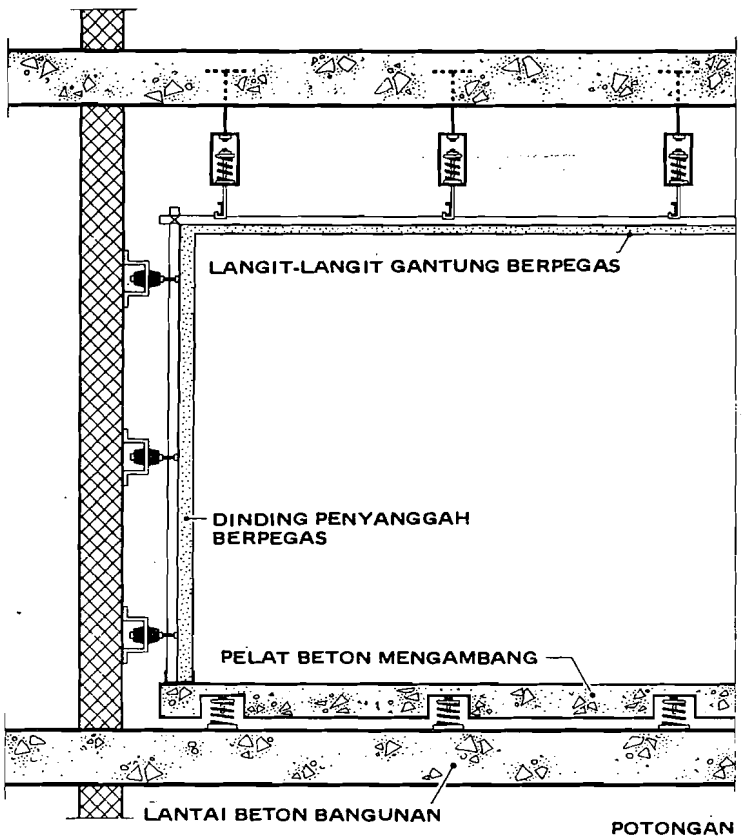


Gambar 14.32 Jangkauan insulasi-bunyi jendela kaca-tunggal dan kaca-ganda. Nilai-nilai di sebelah kiri menggambarkan jendela-jendela yang dapat dibuka; nilai-nilai di kanan menyatakan jendela tetap.



Gambar 14.33 Jendela pengendali antara studio radio atau studio rekaman dan ruang pengendali bunyi.

14.4.5 Konstruksi Diskontinu Bila dalam suatu ruang atau bagian dari suatu bangunan derajat insulasi yang sangat tinggi dibutuhkan melawan bising di udara, bising lewat struktur, dan getaran, semua langkah-langkah yang dibahas sejauh ini, dalam bab ini harus digabungkan ke dalam sebuah rancangan tunggal yang disebut *konstruksi diskontinu* atau *kotak dalam kerangka* (discontinuous construction, or box within a shell). Elemen-elemen dasar susunan serupa itu ditunjukkan dalam Gambar 14.34. Ruang yang digambarkan dalam gambar ini dapat



Gambar 14.34 Konstruksi diskontinu dengan lantai mengambang, tembok yang diisolasi, dan langit-langit yang digantung secara elastik.

digunakan untuk tes audiometrik, sebagai studio radio atau studio rekaman, atau untuk tiap maksud/tujuan lain di mana derajat privasi akustik yang luar biasa harus ada. Ruang semacam itu biasanya dapat diperoleh lewat pengunci bunyi dan mempunyai lantai mengambang di atas balok strukturalnya; tembok yang dibangun di atas lantai mengambang dipisahkan dari tembok eksterior yang membawa beban. Langit-langit digantung secara resilient dari kerangka lantai di atas. Pemisahan akustik dari kulit (shell) dalam dari kerangka bangunan tidak boleh dihubungkan pendek oleh mata rantai penghubung yang tegar, seperti tali (ties) tembok, saluran udara, pipa-pipa atau jendela yang tak terisolasi.

KEPUSTAKAAN

Buku

Harris, C.M. (ed.): *Handbook of Noise Control*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1957, 1184 halaman.

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, Bab 8.

Parkin, P.H., H. J. Purkis, and W.E. Scholes: *Field Measurements of Sound Insulation between Dwellings*, Her Majesty's Stationery Office, London, 1960, 571 halaman.

Berendt, R. D., and G. E. Winzer: *Sound Insulation of Wall, Floor, and Door Constructions*, National Bureau of Standards Monograph 77, Washington, D.C., Nopember 1964, 49 halaman.

Berendt, R. D., G. E. Winzer, and C. B. Burroughs: *A Guide to Air-borne, Impact, and Structure-borne Noise Control in Multifamily Dwellings*, U.S. Department of Housing and Urban Development, Washington, D.C., September 1967.

Majalah

Rettinger, M.: "Sound-reducing Doors", *Progressive Architecture*, April 1955, halaman 120–122.

Hamme, R.N.: "Sound Transmission through Suspended Ceilings over Partitions", *Noise Control*, Januari 1959, halaman 64–69, 76.

Rettinger, M.: "Sound-retarding Windows", *Progressive Architecture*, Maret 1960, halaman 184–186.

Farrell, R.: "Designing Sound Insulation into Buildings", *Architectural and Engineering News*, Maret 1964, halaman 36–49.

Rettinger, M.: "Noise Abatement by Barriers", *Progressive Architecture*, Agustus 1965, halaman 168–169.

Olynyk, D., and T.D. Northwood: "Subjective Judgements of Footstep-noise Transmission through Floors", *J. Acoust. Soc. Am.*, Desember 1965, halaman 1040–1042.

Doelle, L.: "Architectural Noise Control", *J. RAIC*, Mei 1966, halaman 34–38.

Utley, W.A., and K. A. Mulholland: "The Transmission Loss of Double and Triple Walls", *Applied Acoustics*, Januari 1968, halaman 15–20.

Scholes, W. E., and P.H. Parkin: "The Insulation of Houses against Noise from Aircraft in Flight", *Applied Acoustics*, Januari 1968, halaman 37–46.

Fischer, R. E.: "Some Particular Problems of Noise Control", *Architectural Record*, September 1968, halaman 185–192.

Utley, W.A., and B.L. Fletcher: "Influence of Edge Conditions on the Sound Insulation of Windows", *Applied Acoustics*, April 1969, halaman 131–136.

Lange, P.A.: "Sound Insulation of Glazing with Respect to Traffic Noise", *Applied Acoustics*, Juli 1969, halaman 215–236.

"Lead", *Progressive Architecture*, Oktober 1969, halaman 174–183.

Farrell, R.: "Lab Tests and Field Tests: The Accuracy Gap", *Architectural and Engineering News*, Pebruari 1970, halaman 26–32.

Goodfriend, L. S.: "Leaks and Seals", *Architectural and Engineering News*, Pebruari 1970, halaman 36–37.

Higginson, R.F.: "Sound Insulation between Rooms Having Resilient Linings on the Walls", *Applied Acoustics*, April 1970, halaman 133–143.

Intisari dan Laporan

Solutions to Noise Control Problems in the Construction of Houses, Apartments, Motels, and Hotels, Owens-Corning Fiberglas Corporation, Toledo, Ohio, Pebruari 1964, 63 halaman.

Northwood, T.D., and D.M. Clark: *Frequency Considerations in the Subjective Assessment of Sound Insulation,* National Research Council, Ottawa, Research Paper 391, Mei 1964, 4 halaman.

Wooley, R. M.: *Sound Insulation of Windows,* Building Research Station, Garston, Herts, Oktober 1967, 6 halaman.

Northwood, T.D.: *Transmission Loss of Plasterboard Walls,* National Research Council, Ottawa, Building Research Note 66, Oktober 1968, 9 halaman.

Sewell, E.C.: *Sound Transmission within Buildings,* Building Research Station News, Garston, Herts, Autumn 1970, halaman 9–11.

BAB LIMABELAS

Kriteria Bising

Pengendalian bising yang efektif dalam bangunan dibutuhkan karena, bising mempengaruhi orang bila ia sedemikian kerasnya hingga menyebabkan kerusakan telinga sementara atau permanen; mengganggu dalam mendengarkan pembicaraan atau musik, menyebabkan kemunduran dalam penampilan kerja, atau hanya mengalihkan perhatian atau mengganggu.

Bising yang mengalihkan perhatian dan mengganggu menyebabkan reaksi-reaksi yang berbeda bagi manusia, seperti yang dijelaskan dalam Bagian 13.1. Bila hal itu menyangkut masalah kerusakan pada pendengaran atau gangguan ketika mendengarkan pidato atau musik, maka reaksi seseorang lebih terbatas.

Permasalahan dasar dalam pengendalian bising adalah meramalkan bagaimana bising yang diduga ada akan mempengaruhi penghunian ruang yang sedang diperhatikan dan kemudian menetapkan batasan bagi jejak penembusan atau penyebaran bising untuk menghindari setiap pengaruh yang merusak. Untuk melakukan itu, berbagai kriteria yang dibahas secara singkat dalam bab ini harus diperhatikan, tergantung pada jenis dan keadaan problema pengendalian bising tersebut.

15.1 Kerusakan pada Pendengaran.

Bising yang demikian kerasnya (sekitar 140 sampai 150 dB) sehingga menyebabkan kerusakan pendengaran secara langsung/segera biasanya tidak terjadi dalam gedung; namun mereka dapat terjadi dekat bandar udara. Dalam kasus khusus itu tindakan pencegahan dibutuhkan untuk mencegah resiko orang-orang yang secara tidak sengaja masuk dalam zona/wilayah yang merusak tanpa menggunakan pelindung telinga (earmuffs).

Tingkat bising yang cukup tinggi untuk menyebabkan ketulian sementara atau permanen terjadi di industri. Berbagai kriteria telah ditetapkan dan menyatakan tingkat bising maksimum yang tidak boleh dilampaui bila ketulian total atau sebagian mau dihindari. Bila tingkat bising dalam ruang yang sangat bising melampaui tingkat membahayakan yang ditetapkan dalam kriteria yang bersangkutan, maka tindakan-tindakan harus diambil (Bab 13) untuk mereduksi bising dan untuk melindungi pekerja-pekerja. Adalah penting bahwa program pelestarian pendengaran (hearing-conservation program) yang efektif dikelola dalam tiap industri yang bising, termasuk pemeriksaan audiometrik pendengaran karyawannya secara teratur.

Di Amerika, the Walsh-Healey Public Contracts Act (diperbarui pada 1969) menyatakan bahwa bila tingkat bising industri yang diukur dalam skala-A suatu meter tingkat bunyi, melampaui nilai-nilai yang tertulis dalam Tabel 15.1, maka langkah-langkah administratif atau teknis yang efektif harus dilakukan untuk mereduksi tingkat bising yang ada di bawah tingkat-tingkat yang ada dalam tabel. Bila langkah-langkah ini gagal mereduksi tingkat bising dengan cukup, maka alat-alat pencegah (earmuff atau earplug) harus disediakan bagi pekerja-pekerja.

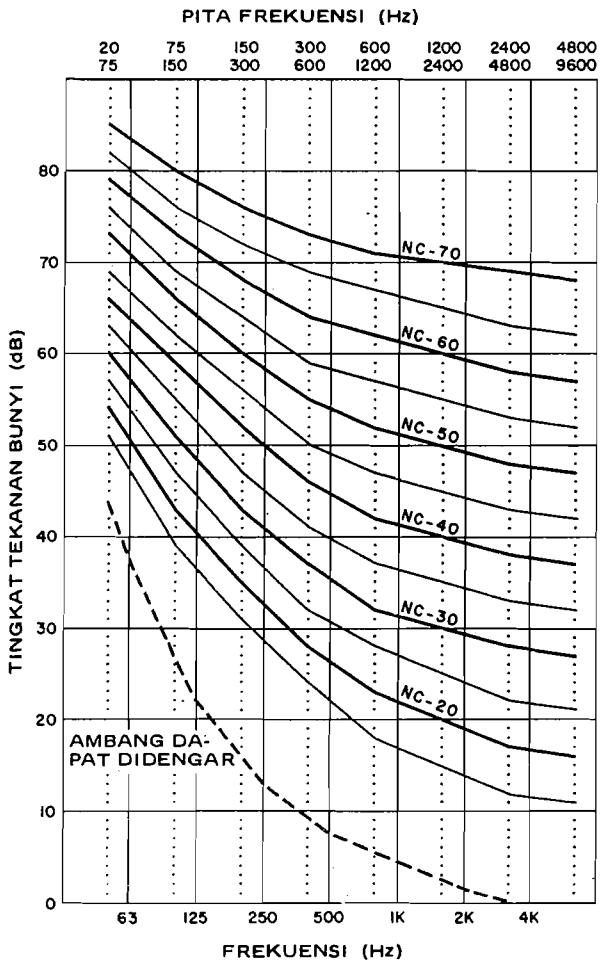
Syarat-syarat yang dinyatakan dalam Walsh-Healey Public Contracts Act berlaku bagi perusahaan-perusahaan yang mempunyai kontrak pengadaan federal dalam jumlah yang lebih dari $10,000.

TABEL 15.1 Singkap Bising yang Diijinkan seperti yang Dinyatakan dalam Walsh-Healey Public Contracts Act (United States)

Durasi, per hari jam	Tingkat bunyi dB-A
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1½	102
1	105
½	110
¼ atau kurang	115

15.2 Tingkat Bising Latar Belakang Maksimum yang Dibolehkan

Bila tingkat bising eksterior yang ada atau yang mungkin ada telah ditentukan (dengan pengukuran, taksiran atau analogi), maka tingkat bising latar belakang yang dapat diterima dalam ruang penerima harus ditetapkan. Perbedaan antara tingkat yang ada atau yang mungkin ada



Gambar 15.1 Kurva Noise-criterion (NC) untuk menentukan tingkat bising latar belakang yang dapat diterima atau yang diinginkan dalam ruang.

di sumber dan tingkat bising latar belakang yang dapat diterima di posisi penerima menunjukkan derajat reduksi bising yang harus diadakan. Kriteria yang dikembangkan setelah penelitian yang lama memungkinkan untuk menyatakan tingkat bising latar belakang yang diijinkan yang akan menyediakan lingkungan yang memuaskan untuk mendengarkan pembicaraan dan musik atau untuk tiap kegiatan lain.

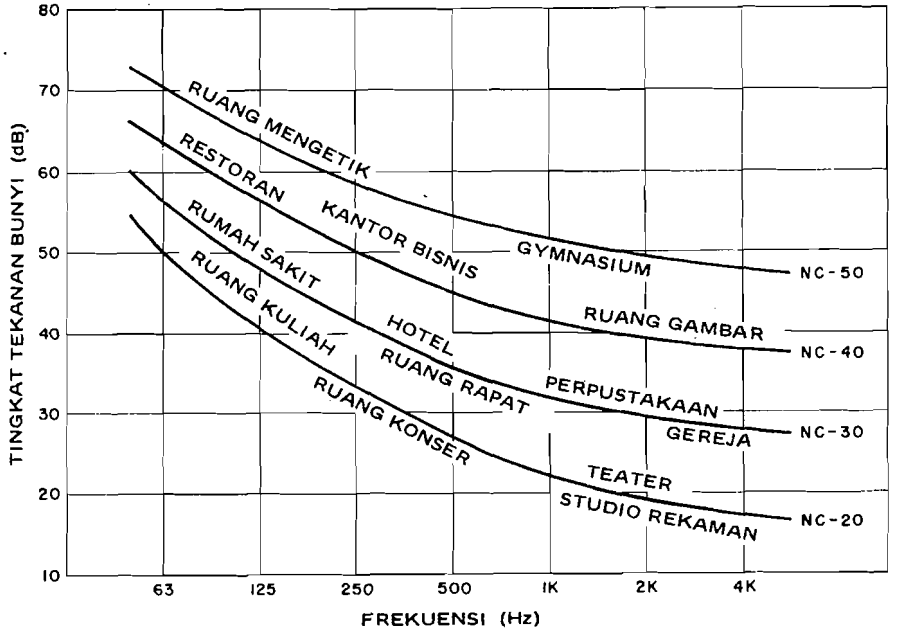
Tingkat bising latar belakang maksimum yang dibolehkan yang direkomendasi dalam berbagai pemilikan (occupancies) dapat dinyatakan dalam kurva *noise criterion* (NC), yang diberikan dalam Gambar 15.1. Tiap kurva NC seperti yang ditunjuk dalam gambar ini, ditunjukkan oleh nilai tingkat tekanan bunyinya dalam pita frekuensi penting 1200 sampai 2400 Hz. Kurva-kurva NC ini direkomendasi untuk spesifikasi jumlah tingkat bising latar belakang yang diinginkan untuk berbagai pemilikan. Tabel 15.2 menunjukkan tingkat bising latar belakang yang dibolehkan dalam berbagai pemilikan, dengan tiap sistem ventilasi atau pengkondisi udara beroperasi dan dengan kondisi lalu-lintas di luar yang normal; tingkat-tingkat ini dapat dinyatakan dalam kurva NC. Di sini dimisalkan bahwa bising eksterior yang menembus tak berarti; bila bising yang menembus mengandung komunikasi yang berarti (misalnya pembicaraan atau musik), kriteria lain yang berlaku.

Implikasi Tabel 15.2 digambarkan secara grafis dalam Gambar 15.2. Tingkat bising latar belakang yang sangat rendah sering memberikan penyelimutan (masking) yang tak cukup dan tidak menjamin privacy yang cukup melawan bising-bising yang mengganggu yang datang dari ruang-ruang yang berdekatan. Dalam kasus-kasus itu tingkat NC dapat digunakan untuk menunjukkan batas paling rendah yang diinginkan di mana bising latar belakang tidak boleh berada di bawahnya. Maka menjadi tanggungjawab teknisi mekanis yang menasehati (consulting) untuk meyakinkan bahwa tingkat bising latar belakang jatuh antara minimum yang diinginkan dan batas maksimum yang dibolehkan, tergantung pada fungsi ruang; kedua tingkat tersebut dapat dinyatakan dalam kurva NC.

TABEL 15.2 Kriteria Bising Latar Belakang yang Direkomendasi untuk Ruang-ruang

Jenis ruang	Bilangan NC
Ruang konser	15–20
Studio radio atau studio rekaman	15–20
Rumah opera	20
Panggung sandiwara	20–25
Ruang musik	20–25
Studio televisi	20–25
Kantor eksekutif	20–30
Ruang kelas atau ruang kuliah	25
Studio film	25
Ruang konferensi	25–30
Gereja atau tempat ibadat	25–30
Ruang pengadilan	25–30
Ruang pertemuan atau auditorium sekolah	25–35
Rumah (daerah ruang tidur)	25–35
Hotel atau motel	25–35
Teater film	30
Rumah sakit	30
Kantor semi-pribadi	30–35
Perpustakaan	30–35
Kantor bisnis	35–45
Rumah makan	35–50
Ruang gambar	40–45
Ruang olahraga	45–50
Ruang ketik atau akuntansi	45–60
Stadion besar	50

Konfigurasi umum kurva-kurva NC agak mirip dengan kurva noise rating (NR) yang ditetapkan oleh International Organization for Standardization, yang hampir selalu digunakan dalam praktek di Eropa.



Gambar 15.2 Kriteria bising latar belakang yang direkomendasi untuk ruang-ruang tertentu.

15.3 Kriteria untuk Bangunan Tempat Tinggal

Menetapkan tingkat bising latar belakang yang dapat diterima dalam bangunan tempat tinggal adalah tidak tegas seperti dalam jenis bangunan lain, karena perbedaan yang besar dalam lokasi pengembangan tempat tinggal, jangkauan ekonomik, dan lain-lain, dan juga pada kegiatan yang berbeda yang terjadi di dalamnya. Tabel 15.3 menunjukkan nilai NC yang direkomendasi untuk rumah-rumah dengan lokasi yang berbeda.

TABEL 15.3 Kriteria Bising Latar Belakang yang Direkomendasi untuk Rumah Tinggal

Lokasi	Ruang tidur	Ruang keluarga
Desa	20	25
Pinggiran kota	25	30
Kota	30	35
Dekat lalu-lintas padat	35	40
Dekat industri padat	40	45

15.4 Kriteria untuk Ruang Kantor

Dalam pengendalian bising ruang kantor masalahnya tidak hanya apakah bising adalah berlebihan atau tidak tetapi juga apa yang disampaikan oleh bising tersebut. Di samping menyediakan tingkat bising latar belakang yang cukup rendah, transmisi atau penyebaran bising yang jelas dan dapat diidentifikasi harus juga dikendalikan. Dalam suatu kantor hal ini penting bagi pendengar maupun pembicara, karena pengalihan perhatian oleh bising yang dapat diidentifikasi (bunyi pembicaraan) diperkuat (intensified) bila bising menjadi inteligibel (jelas) dan karena orang yang berbicara tidak suka ikut didengar (overheard). Bila penghuni suatu kantor atau ruang lain dilindungi dengan cukup baik terhadap pembicaraan yang jelas yang berasal

dari daerah yang berdampingan atau berdekatan dari ruang yang sama dan menjamin bahwa ia tak akan didengar orang lain, ia dikatakan mempunyai *acoustical privacy* atau *speech privacy.*

Penelitian dalam jumlah yang banyak telah dilakukan, dan studi baru sedang berjalan untuk menetapkan kriteria bising yang dapat diterima oleh bagian terbesar pegawai-pegawai kantor. Ternyata bahwa dalam pemilihan kurva NC yang tepat (Tabel 15.2) atau kriteria lain yang cocok untuk pengendalian bising kantor-kantor, arsitek harus membuat suatu keputusan yang bijaksana karena jangkauan fungsi dan ukuran-ukuran ruang kantor yang luas, sumber bising yang potensial, dan fluktuasi mereka dalam berbagai kantor, dan perbedaan individual dalam mentolerir bising.

KEPUSTAKAAN

Buku

Harris, C.M. (ed.): *Handbook of Noise Control,* McGraw-Hill Book Company, New York, 1957, bab 7, 38, 39, dan 40.

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings,* Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, bab 10.

Beranek, L.L. (ed.): *Noise Reduction,* McGraw-Hill Book Company, New York, 1960, bab 19 dan 20.

Majalah

Beranek, L.L.: "Revised Criteria for Noise in Buildings", *Noise Control,* Januari 1957, halaman 19–27.

Kryter, K.D.: "Noise Control Criteria for Buildings", *Noise Control,* Nopember 1957, halaman 14–20.

Farrell, W.R.: "Acoustical Privacy: What It Is and How It Can Be Achieved Economically", *Architectural Record,* Juni 1959, halaman 226–231.

"Criteria for Noise Control", *Architects' Journal,* 27 Pebuari 1963, halaman 491–492.

Rose, J.A.: "Acoustical Design, Criteria, and Planning", *Architectural Science Review,* September 1964, halaman 98–109.

Stewart, K.C.: "Noise and the Law", *Architectural and Engineering News,* Pebuari 1970, halaman 40.

BAB
ENAMBELAS

Pengendalian Bising dan Getaran Mekanik

Walaupun peralatan mekanis dan mesin-mesin sekarang membuat kehidupan penghuni bangunan-bangunan menjadi lebih nyaman, lebih menyenangkan, dan lebih produktif, namun mesin-mesin dan peralatan ini merupakan kontributor dasar bagi bising dalam bangunan. Sebagai tambahan, kebutuhan akan utilisasi (utilization) ruang yang optimum di dalam bangunan seringkali tidak hanya menyebabkan kurang cukupnya tempat untuk peralatan mekanik dan pipa-pipa saluran (ductwork) tetapi juga sangat dekatnya mesin-mesin pada daerah-daerah yang peka terhadap bising, suatu hal yang tak diinginkan.

Dalam pengendalian bising mekanis eliminasi sempurna jarang merupakan sasarannya (the objective). Secara teknik hal ini adalah sulit, tidak ekonomis dan tidak perlu. Seharusnya, sasaran umum adalah atenuasi bising mekanis menjadi suatu tingkat yang dapat diterima, tergantung pada bermacam-macam keadaan; seperti kegiatan-kegiatan yang dapat diduga dalam ruang, tingkat privasi yang dibutuhkan, dan lain-lain.

Bising mekanis dihasilkan oleh sistem pipa ledeng, sistem ventilasi dan pengkondisian udara, dan oleh mesin-mesin.

Pengendalian bising dan getaran mekanis yang memuaskan adalah tanggungjawab konsultan bidang mekanik, tetapi keakraban dengan segi-segi yang paling penting tentang masalah ini juga akan berguna bagi sang arsitek.

16.1 Bising Sistem Pemipaan (Plumbing Systems)

Bising pipa air jarang sangat keras, walaupun demikian mereka dapat mengganggu dan memalukan; sebagai contoh, bila mereka berasal dari alat-alat kamar mandi. Berikut ini adalah sumber-sumber utama bising pipa air:

1. Aliran air yang turbulen.
2. Pukulan air yang disebabkan pemutusan (interupsi) aliran air yang tiba-tiba.
3. Bising pompa yang disebabkan oleh pompa yang dijalankan oleh mesin.
4. Bagian-bagian peralatan yang longgar atau cacat.
5. Pemuaian dan penyusutan pipa-pipa.
6. Keluarnya air dari bak mandi, toilet/kamar kecil, bak cuci dan kamar kecil.
7. Aliran dan percikan air bila bak mandi sedang diisi atau pancuran sedang dipakai.
8. Udara yang terjebak dalam sistem pipa air.

Seperti dalam begitu banyak kasus pengendalian bising, cara paling baik adalah menekankan bising pada sumbernya. Sebagai contoh, dengan memasang pipa-pipa pengadaan dan pengosongan sejauh mungkin dari daerah-daerah tenang dalam bangunan, atau dengan memilih dan memasang peralatan-peralatan yang bekerja secara tenang. Sebagai langkah selanjutnya, suatu usaha harus dibuat untuk mencegah bising menumbuk ke dalam pipa air atau untuk men-

cegah transmisinya dari pipa ke struktur bangunan. Transmisi sepanjang pipa dapat banyak dikurangi dengan memasukkan pipa fleksibel (karet, karet dan kain, plastik dan lain-lain) antara sumber dan pipa logam.

Bila bising ditransmisi lewat suatu pipa, jumlah bising yang diradiasi oleh pipa itu sendiri adalah kecil (dapat diabaikan); kebanyakan dari bunyi yang mengganggu diradiasi oleh struktur bangunan (penyekat, papan, langit-langit dan lain-lain) di mana pipa disangkutkan. Untuk meniadakan radiasi bising ini, pipa-pipa harus dilekatkan pada elemen bangunan yang besar (tembok batu) atau dipasang dengan pegas, yaitu diinsulasi dengan cukup dari penyangganya dengan cara dibungkus dalam laken, asbestos, karet, neoprene, mineral wool atau beberapa bahan lain yang cocok. Bila langkah-langkah reduksi bising yang direkomendasi di atas tak dapat dilaksanakan sampai tingkat yang dibutuhkan, maka pipa-pipa yang merambatkan bising harus diisolir dari ruang yang dipengaruhinya dengan membangun mereka ke dalam pipa atau saluran/terowongan yang cocok. Harus diyakini bahwa pipa atau saluran ini tidak merambatkan bising lain di udara (airborne sound) dari satu bagian bangunan ke bagian lainnya.

Dalam bangunan-bangunan bertingkat penggunaan penurunan tekanan (pressure reducer) atau regulator harus dipertimbangkan.

Bila peniadaan bising pipa ledeng secara sempurna diperlukan, maka peralatan-peralatan yang menimbulkan bising (bak mandi, pancuran) harus dipasang pada lantai mengambang atau lapisan bawah yang berpegas (resilient) (gabus, karet atau neoprene).

16.2 Bising dari Sistem Ventilasi dan Pengkondisi Udara

Dalam ruang-ruang di mana mendengarkan pidato atau musik adalah penting, tingkat bising yang diciptakan oleh sistem pengatur udara haruslah sekitar 5 sampai 15 dB di bawah tingkat bising latar belakang yang diinginkan agar menghindari gangguan bising ventilasi dengan inteligibilitas pembicaraan atau dengan kenikmatan musik.

Sebaliknya, dalam ruang-ruang tertentu seperti kantor, ruang-ruang rumah sakit, rumah makan dan lain-lain, tujuan pengendalian bising-bising mekanis tidaklah untuk meniadakan semua bising yang disebabkan oleh sistem tersebut, tetapi untuk menciptakan lingkungan akustik yang seimbang. Bising harus dikurangi hanya sampai tingkat yang perlu untuk memungkinkan kegiatan yang diperkirakan akan ada dalam ruang berlangsung pada tingkat yang enak. Mengurangi bising mekanis di bawah tingkat ini adalah penghamburan. Di samping itu, seperti disebutkan di atas, reduksi bising yang berlebihan akan menghilangkan bising selimut buatan yang secara menguntungkan dapat menutupi bunyi yang lebih lemah yang menembus dan membuat mereka tak dapat didengar. Pengendalian bising dengan menggunakan bunyi selimut telah dibahas dalam Bagian 13.6.9 dan 14.4.

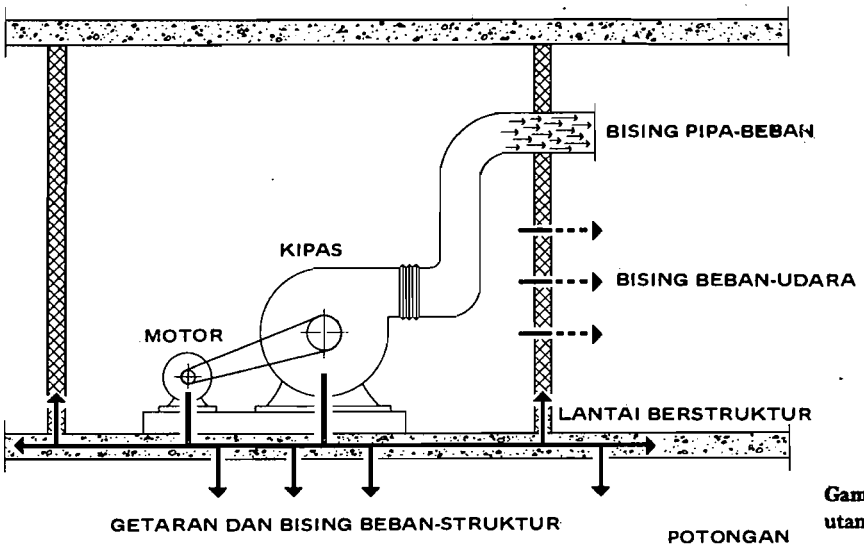
Karena itu pengendalian bising sistem pengatur udara harus dimulai, dengan ketetapan hati yang kritis tentang kriteria untuk tingkat bising latar belakang yang diinginkan dalam semua ruang, tergantung pada kegiatan-kegiatan tertentu dalam masing-masing ruang. Kriteria untuk bising dalam berbagai ruang telah dibahas dalam Bab 15.

16.2.1 Sumber Bising dan Getaran Mekanis Bising yang berhubungan dengan sistem mekanik dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Bising peralatan mekanis yang disebabkan oleh tiap unit ventilasi dan pengkondisi udara dan oleh kipas angin, motor, kompresor, pompa, dan lain-lain dari sistem besar yang disentralisasi. Bising yang ditransmisi lewat saluran dan lewat struktur bangunan ini (Gambar 16.1) dapat mempengaruhi ruang-ruang yang bahkan tidak dilayani oleh sistem tersebut.

2. *Bising sendiri* (self-noise) yang disebabkan oleh aliran udara berkecepatan tinggi, pulsa-pulsa yang ditimbulkan oleh bilah-bilah kipas angin, aliran udara sekitar tekukan tajam, atau turbulensi yang diciptakan oleh kisi-kisi, penyebar (diffuser), peredam dan pengatur tekanan.

3. Pembicaraan silang (cross talk) dari satu tempat ke tempat lain, misalnya bunyi pembicaraan yang masuk ke kisi pengadaan udara atau udara balik dalam satu ruang merambat



Gambar 16.1 Sumber-sumber bising utama pada sistem pengaturan udara.

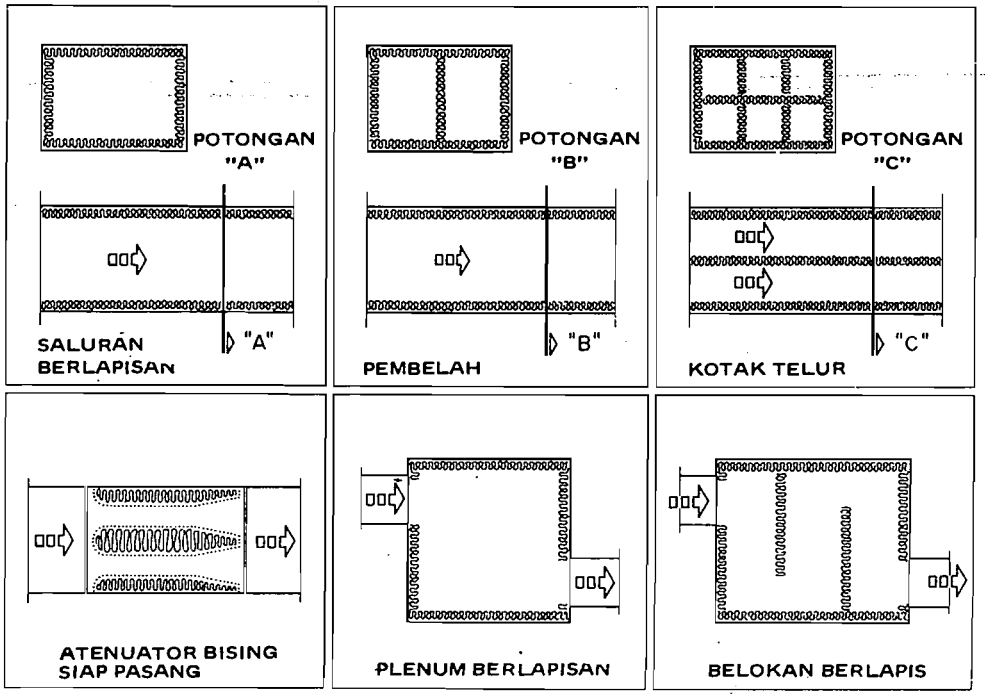
lewat saluran atau plenum dan muncul dalam ruang di dekatnya lewat kisi lain, tanpa tergantung (irrespective) sama sekali pada arah aliran udara.

4. Bising yang ditransmisi dari sumber eksterior lewat bagian saluran yang tak terlindung ke dalam bangunan.

16.2.2 Komponen yang Mengurangi Bising Dalam pengendalian bising ventilasi dan pengkondisi udara, perhatian harus diberikan pada tiga bagian penghasil bising utama dari sistem: (1) peralatan mekanis sentral, (2) pipa pengadaan dan pengembalian/balik, dan (3) kisi pengadaan dan balik.

Pemasangan peralatan yang beroperasi secara tenang, terpasang jauh dari ruang atau lantai yang pekat terhadap bising (mungkin dalam ruang bawah tanah atau dalam bangunan terpisah), merupakan hal yang penting untuk diingat dalam berjuang untuk mereduksi bising mekanis. Metoda-metoda tambahan adalah sebagai berikut:

1. Penyerapan bising dalam lapisan dinding pipa (Gambar 16.2).
2. Reduksi bising lewat tekukan.



Gambar 16.2 Metoda mereduksi bising dengan menggunakan lapisan penyerap bunyi dalam saluran-saluran sistem pengaturan udara.

3. Pembagian bising ke dalam beberapa cabang sistem saluran.

4. Penggunaan logam ukuran berat untuk saluran-saluran, yang dijepit dengan baik dan diperkuat.

5. Penyangga saluran udara dengan penggantung berpegas.

6. Pemisahan saluran udara secara akustik dari dinding-dinding dan lantai di titik-titik tembus, dengan cara membungkus secara elastik dengan fiber glass, karet dan neoprene dan dengan mendempul ujung pembungkus yang tak terlindung.

7. Menggunakan saluran udara yang terletak di dalam (boxed-in) antara penutup papan gypsum atau dalam terowongan (shaft).

8. Penggunaan peralatan (kisi-kisi) yang dibentuk secara benar, digaris bentuk dengan mulus (streamline-contoured), dan didistribusi secara teliti pada ujung pelucutan (discharge) dari saluran udara, dengan kecepatan udara yang cukup rendah.

9. Penyebaran bising ke dalam ruang di bagian kisi pengadaan udara atau kisi pengembalian udara/udara balik.

10. Penyerapan bising dalam ruang yang diisi oleh udara.

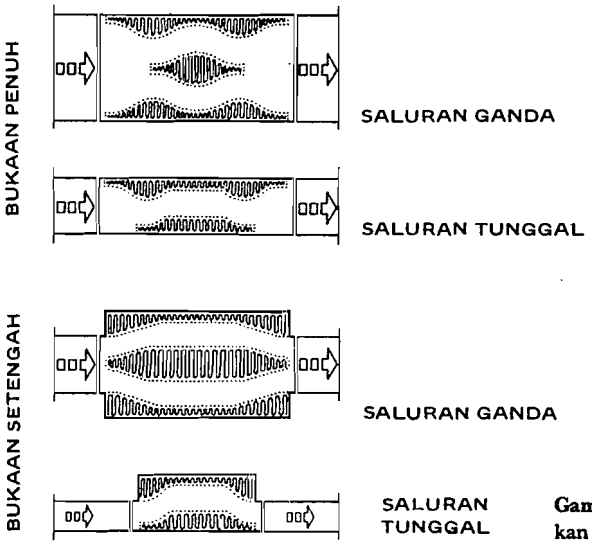
Insulasi termis yang dipasang sepanjang permukaan luar dari dinding saluran udara, akan menyumbang sampai suatu tingkat tertentu, pada TL dinding saluran udara.

Bahan penyerap bunyi, seperti papan glass-fiber atau mineral-fiber, yang dipasang sepanjang bagian dalam saluran udara persegi panjang atau berbentuk pipa, akan menambah atenuasi bising sepanjang saluran. Bahan penyerap bunyi yang digunakan untuk lapisan saluran udara harus mempunyai koefisien absorpsi tinggi, permukaan halus untuk gesekan udara yang sedikit, kekuatan yang cukup untuk menahan disintegrasi yang disebabkan aliran udara, dan hambatan yang cukup melawan api, pembusukan, kutu-kutu dan bau.

Penggabungan suatu plenum (bagian perluasan dari saluran udara) ke dalam sistem saluran udara dengan permukaan interior yang menyerap bunyi berperan pada reduksi bising dalam rangkaian saluran udara. Ruang plenum digunakan bila saluran udara yang lebih kecil dalam jumlah yang besar dihidupi (fed) oleh satu kipas angin pengadaan utama.

Saluran udara denganpenampang yang kecil merupakan atenuator bising yang lebih efektif daripada saluran udara dengan penampang yang lebih besar. Karena itu, bila suatu saluran udara terlampau pendek untuk mengadakan reduksi bising yang memuaskan, maka tambahan atenuasi dapat diperoleh (dengan pengorbanan pada penurunan tekanan yang bertambah) dengan membagi saluran udara menjadi sejumlah jalinan udara yang dilapisi yang lebih kecil (jenis egg-crate sel penyerap bunyi, pembagi (splitter) dan lain-lain, Gambar 16.2) atau dengan menggunakan unit atenuator siap pakai (prefabricated, package), yang disebut *penenang* (silencer) (Gambar 16.3).

Karena tingkat bising dekat keluaran saluran udara adalah lebih besar dari suatu jarak dari kisi, maka bukaan saluran udara dalam auditorium harus sejauh mungkin dari pendengar.



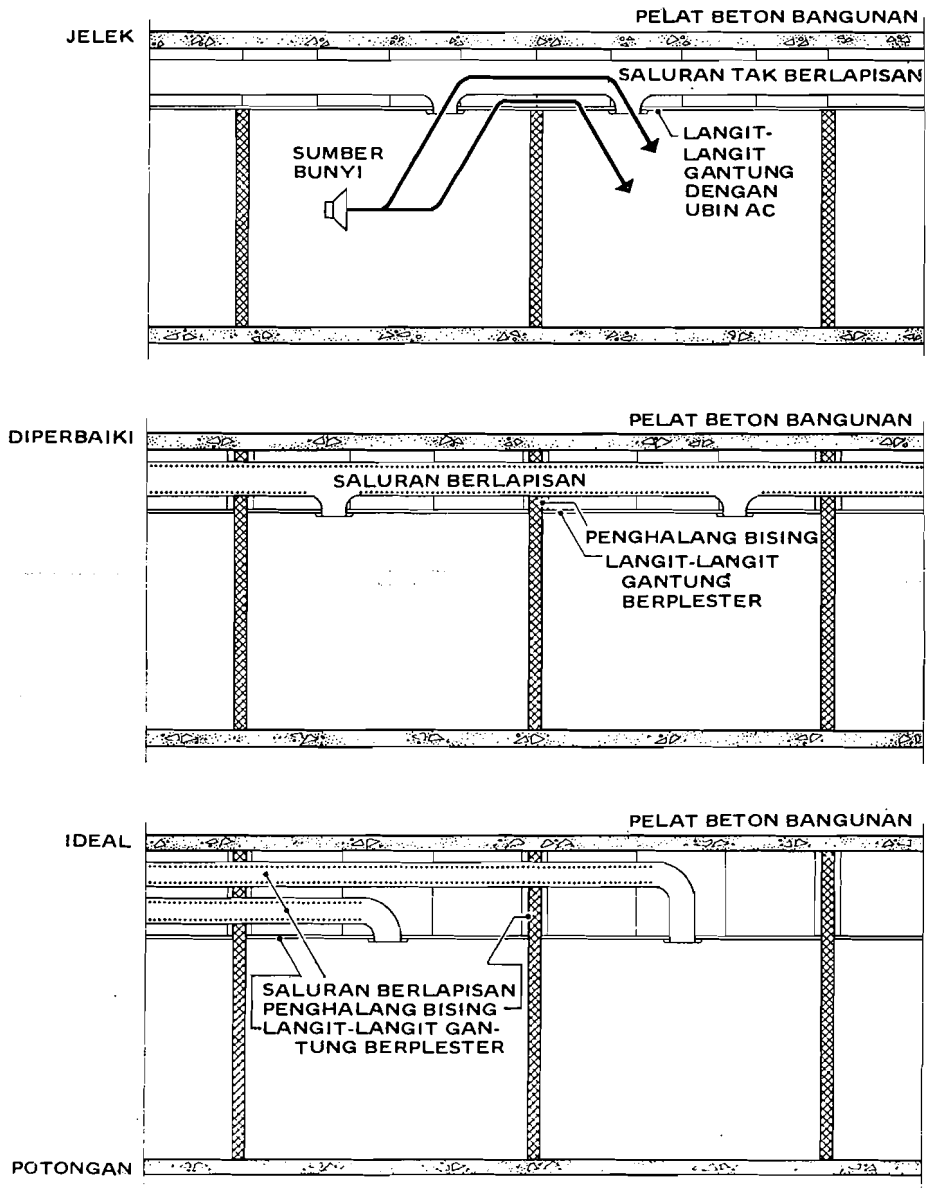
Gambar 16.3 Atenuator (penenang) bising siap pakai yang digunakan dalam saluran-saluran sistem pengaturan udara.

16.2.3 Atenuasi Bising Mekanis Untuk mendapatkan atenuasi yang dibutuhkan dari bising ventilasi atau pengkondisi udara di bawah tingkat bising latar belakang yang dapat diterima dalam suatu ruang, langkah-langkah berikut ini harus diperhatikan:

1. Tingkat bising yang dihasilkan oleh tiap unit peralatan di sumbernya harus ditentukan.
2. Atenuasi tingkat bising ini karena saluran udara, dinding, lantai, langit-langit, jarak antara kisi pengadaan dan penghuni, dan lain-lain, harus dihitung kemudian; artinya, tingkat bising pada posisi penghuni (occupant) harus diperiksa.
3. Untuk tiap ruang yang dilayani oleh sistem pengatur udara, tingkat NC harus ditentukan (Bab 15) di bawah mana tingkat bising (butir 2) akhirnya harus direduksi.
4. Bila bising mekanis tidak direduksi ke batas yang dibutuhkan, yaitu, di bawah tingkat NC (butir 3), atenuasi lebih lanjut harus dicapai lewat tindakan-tindakan tambahan.

Ada beberapa cara dalam mendapatkan atenuasi tambahan yang dibutuhkan:

1. Bising dapat direduksi lebih lanjut pada sumbernya.
2. Pengaturan/penempatan saluran udara dapat dikembangkan dengan memperpanjang rangkaian saluran udara.



Gambar 16.4 Susunan saluran pengadaan atau pengembalian atau pengembalian udara untuk mereduksi transmisi bising yang tak diinginkan (pembicaraan silang) antara ruang yang berdekatan.

3. Lapisan penyerap bunyi tambahan dapat digunakan sepanjang permukaan interior saluran-saluran udara.

4. Atenuator bising siap pakai (silencer) dapat digunakan, terutama pada persimpangan (junction) dinding penyekat.

Di samping reduksi bising yang lewat saluran (duct-borne noise), eliminasi pembicaraan silang antara ruang-ruang yang dilayani oleh sistem juga penting (Gambar 16.4).

Harus ditekankan lagi bahwa cara yang paling efektif dan ekonomis dalam mengendalikan bising ventilasi diperoleh dengan memusatkan dan menempatkan peralatan yang menimbulkan bising sejauh mungkin dari ruang-ruang yang membutuhkan ketenangan dalam derajat yang tinggi dan pada bagian bangunan di mana bising dan getaran secara relatif dapat ditolerir.

16.3 Bising Mesin-mesin

Ruang pemanas (ketel uap), generator disel, pompa, kompresor, menara pendingin, motor, alat-alat yang bekerja dengan angin/alat-alat berisi udara (pnuematic), peralatan rangkaian listrik, peralatan pengecek elevator, transformator, peralatan kolam renang (di atas atap), dan lain-lain adalah sumber-sumber bising mesin yang terkenal. Kadang-kadang mesin semacam itu ditempatkan di ruang bawah tanah bangunan, walaupun dalam bangunan bertingkat seringkali lantai peralatan mekanis perlu ditempatkan pada puncak bangunan atau di suatu tempat antara lantai-lantai tertentu.

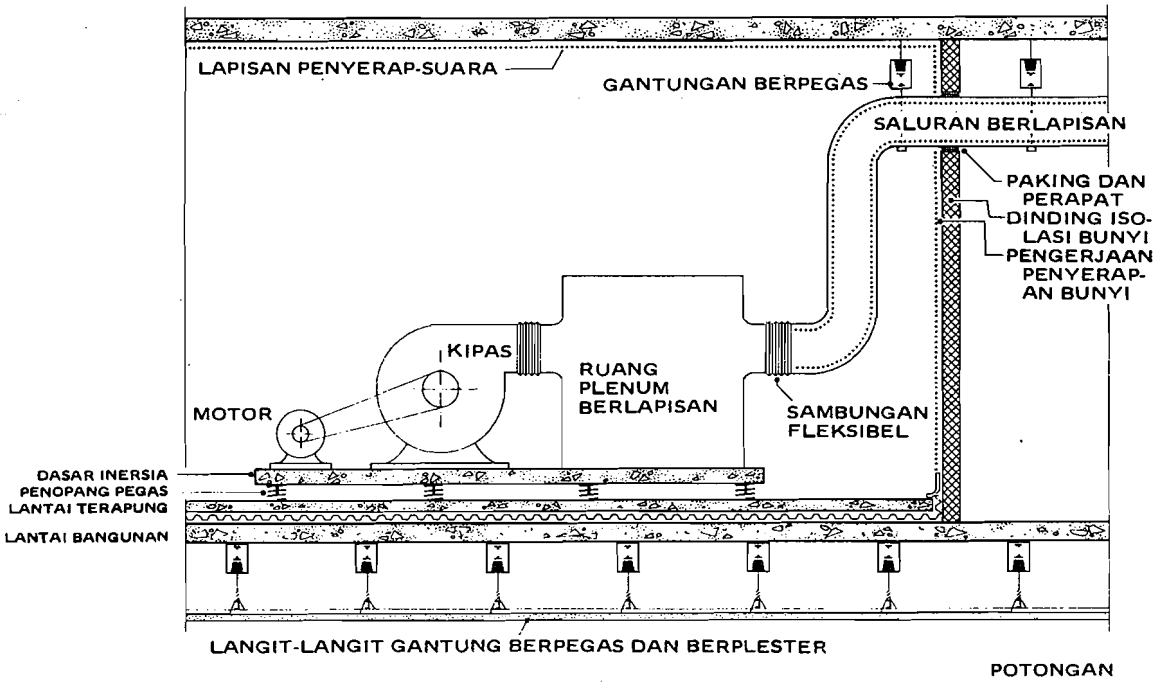
Derajat pengendalian bising yang dibutuhkan dalam ruang-ruang dekat mesin akan tergantung pada tingkat bising yang dihasilkan oleh mesin-mesin dan tingkat yang dapat ditolerir dalam ruang yang diperhatikan.

Untuk mengadakan reduksi bising yang cukup antara ruang peralatan mekanik dan ruang-ruang yang berdampingan, jejak bising berikut ini harus diperiksa:

1. Jejak lewat udara antara ruang dengan peralatan yang bising dan ruang-ruang yang berdampingan atau berdekatan lewat dinding, lantai, langit-langit dan lain-lain.

2. Jejak lewat bangunan antara peralatan yang bergetar dan daerah yang berdampingan lewat struktur bangunan.

3. Jejak lewat saluran udara untuk transmisi bising kipas angin dan bising aliran udara ke dalam ruang yang berdekatan/berbatasan yang dilayani oleh peralatan ventilasi atau pengkondisi udara.



Gambar 16.5 Langkah-langkah untuk mengendalikan bising dan getaran di ruang peralatan-mekanik.

Untuk menjamin atenuasi bising mesin yang dibutuhkan agak di bawah tingkat NC dalam ruang-ruang yang dekat dengan ruang peralatan, langkah-langkah berikut harus diperhatikan (Gambar 16.5):

1. Pemasangan lantai mengambang di bawah seluruh ruang peralatan.
2. Pemasangan efisien dari semua bagian peralatan dan mesin-mesin di puncak papan yang mengambang, bila perlu, pada dasar inersia yang dirancang dan dikonstruksi dengan tepat dengan pemasangan isolasi-getaran.
3. Penggunaan ruang plenum yang dilapisi pada sisi pelucutan kipas angin.
4. Kelengkapan untuk langit-langit rapat yang digantung secara elastik (dengan pegas) dalam ruang-ruang di bawah lantai mesin.
5. Pengendalian bising kipas angin lewat saluran udara dan bising aliran udara.
6. Penggunaan dinding, lantai dan pintu penginsulasi bunyi sekeliling ruang peralatan penghasil bising.
7. Penggunaan lapisan penyerap bunyi sepanjang langit-langit dan dinding ruang peralatan.

16.4 Getaran

Penggunaan konstruksi bangunan yang tipis dan ringan yang makin bertambah, permintaan akan sistem tekanan yang tinggi dan sistem pengkondisi udara dengan kecepatan tinggi, dan perlengkapan ruang peralatan mekanik yang disentralisasi di lantai atas bangunan yang lebih luwes dan berumur panjang, semua telah menambah terjadinya getaran dalam bangunan-bangunan modern.

Getaran (gerak suatu struktur atau tiap benda padat lain yang disebabkan beberapa gaya bolak-balik, sebagai contoh, bagian suatu mesin yang berputar di luar keseimbangan) dapat segera ditransmisi ke bagian-bagian struktur yang jauh dan diradiasi kembali dari permukaan yang besar (dinding, langit-langit, jendela) sebagai bising yang mengganggu; ia bahkan ditransmisi ke bangunan-bangunan lain yang berdekatan.

Getaran dapat mempunyai pengaruh-pengaruh berikut:

1. Ia dapat merusak bangunan.
2. Ia dapat mengganggu penghuni.
3. Ia dapat berinterferensi dengan kerja dan merusak instrumen presisi.
4. Ia dapat menyebabkan bising bila laju getaran berada dalam jangkauan frekuensi audio.

Ada dua jenis aplikasi isolasi getaran: (1) *isolasi aktif,* di mana transmisi gaya-gaya yang tak seimbang dari mesin ke dasarnya dicegah, dan (2) *isolasi pasif,* di mana gerakan yang merusak dari substruktur ke peralatan yang dipasang padanya direduksi. Ini digunakan pada pemasangan instrumen presisi, dengan membolehkan penempatannya di ruang yang dapat diperoleh atau di mana aliran kerja membutuhkannya. Dalam kedua keadaan tersebut, isolasi getaran dirancang sesuai dengan prinsip yang sama.

Sumber getaran biasanya mempunyai frekuensi yang utama di mana ia bergetar, dan disebut *frekuensi pengganggu* atau *frekuensi penggerak.* Pemasangan resilient dengan berat peralatan atau mesin padanya akan mempunyai *frekuensi resonansinya* sendiri atau *frekuensi osilasi natural,* di mana ia akan berosilasi bila diberi penyimpangan dan kemudian dibolehkan bergerak dengan sendirinya. Makin banyak penyimpangan dalam sistem, makin rendah frekuensi naturalnya. Derajat isolasi getaran yang diberikan oleh pasangan pegas tergantung pada perbandingan antara frekuensi penggerak dan frekuensi natural. Frekuensi natural pasangan pegas harus paling sedikit dua kali lebih rendah dari frekuensi penggerak bila sebarang isolasi getaran harus dicapai. Tidak ada isolasi getaran yang dapat dicapai bila frekuensi natural pasangan pegas adalah lebih tinggi dari frekuensi penggerak. Bila kedua frekuensi itu sama, atau hampir sama, pasangan pegas akan membuat keadaan lebih jelek; artinya, lebih banyak getaran akan ditransmisi dibanding bila tak ada sama sekali pasangan pegas yang dipakai.

Jumlah penyimpangan pasangan pegas yang dihasilkan dari berat mati beban yang ditunjang disebut *penyimpangan statik* atau *perpindahan statik.* Cukup jelas bahwa pasangan

pegas harus dipilih dengan sangat teliti, terutama bila frekuensi getaran cukup rendah. Sistem yang dipasang tak boleh dibebani lebih atau dibebani kurang, dan ia harus menyediakan frekuensi resonansi beberapa kali lebih rendah daripada frekuensi getaran terendah yang harus diisolasi.

Transmisi getaran dari satu struktur ke struktur lain dapat dihindari dengan meletakkan elemen penenang (resilient), yang disebut *isolator getaran*, di antara kedua struktur. Isolator getaran dapat merupakan salah satu dari butir yang berikut:

1. Pasangan lantai elastik (pegas baja, pegas udara, karet, gabus, laken, neoprene, elastomer, fiber glass, gelas fiber prakompresi).
2. Penggantung langit-langit elastik (pegas, neoprene, elastomer).
3. Isolator dinding elastik (jepitan isolasi, jepitan dinding kenyal).
4. Pipa air/hose fleksibel (baja tahan karat, karet yang diperkuat, teflon yang dicetak, butyl yang fleksibel/luwes).

KEPUSTAKAAN

Buku

Crede, C.E.: *Vibration and Shock Insulation*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1951, 328 halaman.

Harris, C.M. (ed.): *Handbook of Noise Control*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1957, bab 12, 13, 25 sampai 28, dan 30.

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, bab 7 dan 8.

Beranek, L.L. (ed.): *Noise Reduction*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1960, bab 20 sampai 22.

Majalah

Tutt, R.D., and C.J. Hemond: "Evaluation of Noise Components in Air-distribution Systems", *Noise Control*, Januari 1957, halaman 10–18.

Allen, C.H.: "Noise from Air-conditioning Fans", *Noise Control*, Januari 1957, halaman 28–34.

Lemmerman, R.D.: "Air-conditioning and Ventilating Noise Reduction", *Noise Control*, Januari 1957, halaman 47–51, 62.

Sanders, G.J.: "Noise Reduction in Machinery", *Noise Control*, Nopember 1957, halaman 29–37, 62.

Kodaras, M.J.: "Suppression of Ventilating Noise", *Noise Control*, Maret 1958, halaman 42–45.

Gerlitz, R.A.: "Reduction of Room Noise Due to Fans", *Noise Control*, Mei 1958, halaman 21–25.

Wells, R.J.: "Acoustical Plenum Chambers", *Noise Control*, Juli 1958, halaman 9–15.

Johnson, K.W.: "Vibration Control", *Sound*, Mei–Juni 1962, halaman 34–38.

Miller, L.N.: "Controlling Mechanical Noise and Vibration in Buildings", *Architectural and Engineering News*, Maret 1964, halaman 50–55.

Miller, L.N.: "Isolation of Railroad and Subway Noise and Vibration", *Progressive Architecture*, April 1965, halaman 203–208.

BAB TUJUHBELAS

Pengendalian Bising dalam Jenis Bangunan Spesifik

Pengendalian bising lingkungan dalam tiap bangunan harus dimulai pada tahap awal proses perancangan. Metoda-metoda yang direkomendasi untuk pengendalian bising lingkungan yang telah dijelaskan dalam Bagian 13.6, meliputi hal-hal yang begitu penting seperti pengurangan bising pada sumbernya, perencanaan lapangan yang hati-hati, perancangan arsitektur yang baik dengan pemisahan ruang-ruang yang bising dari daerah yang peka terhadap bising, penggunaan bising selimut, dan pemilihan konstruksi bangunan penginsulasi bunyi yang efisien. Dinding-dinding pengisolasi bunyi yang dapat digunakan dalam tiap bangunan dibahas dalam Bab 14. Konstruksi dinding dan lantai dengan karakteristik akustik arsitekturalnya yang penting digambarkan dalam Appendiks B dan C. Bab ini menjelaskan persyaratan khusus bagi pengendalian bising dalam jenis bangunan tertentu.

Syarat-syarat pengendalian bising yang dimasukkan dalam peraturan-peraturan bangunan, perundang-undangan, standar dan lain-lain pada dasarnya memberi kontribusi pada pengendalian lingkungan yang efektif. Kecenderungan yang wajar terhadap konstruksi yang lebih ringan, lebih tipis dan kurang mahal pada kondisi sekarang dapat dibesar-besarkan tanpa pembatasan dan kriteria peraturan dan perundang-undangan.

Syarat-syarat penginsulasian bunyi yang dimasukkan dalam perundang-undangan kotapraja tidak berarti kecuali mereka dipaksakan. Ini dapat dilakukan, seperti dalam hal kebutuhan teknis lain, dengan menahan atau menangguhkan ijin bangunan bila pemeriksaan pada rencana bangunan atau konstruksinya menampakkan pengabaian bagi persyaratan akustik yang relevan.

17.1 Auditorium

Pengendalian bising auditorium harus dimulai dengan perencanaan letak (site) yang baik, dengan memisahkan auditorium-auditorium sebanyak mungkin dari semua bising eksterior dan interior dan sumber-sumber getaran, seperti lalu-lintas kendaraan yang bising, lalu-lintas udara, lalu-lintas bawah tanah, daerah parkir atau bongkar muat barang, peralatan mekanis, ruang elektrik, atau bengkel (Bab 13). Pentingnya menempatkan auditorium sejauh mungkin dari semua sumber bising eksterior dan interior yang potensial tak dapat cukup ditekan, karena ini selalu terbukti merupakan tindakan pengendalian bising yang paling ekonomis dan paling efisien.

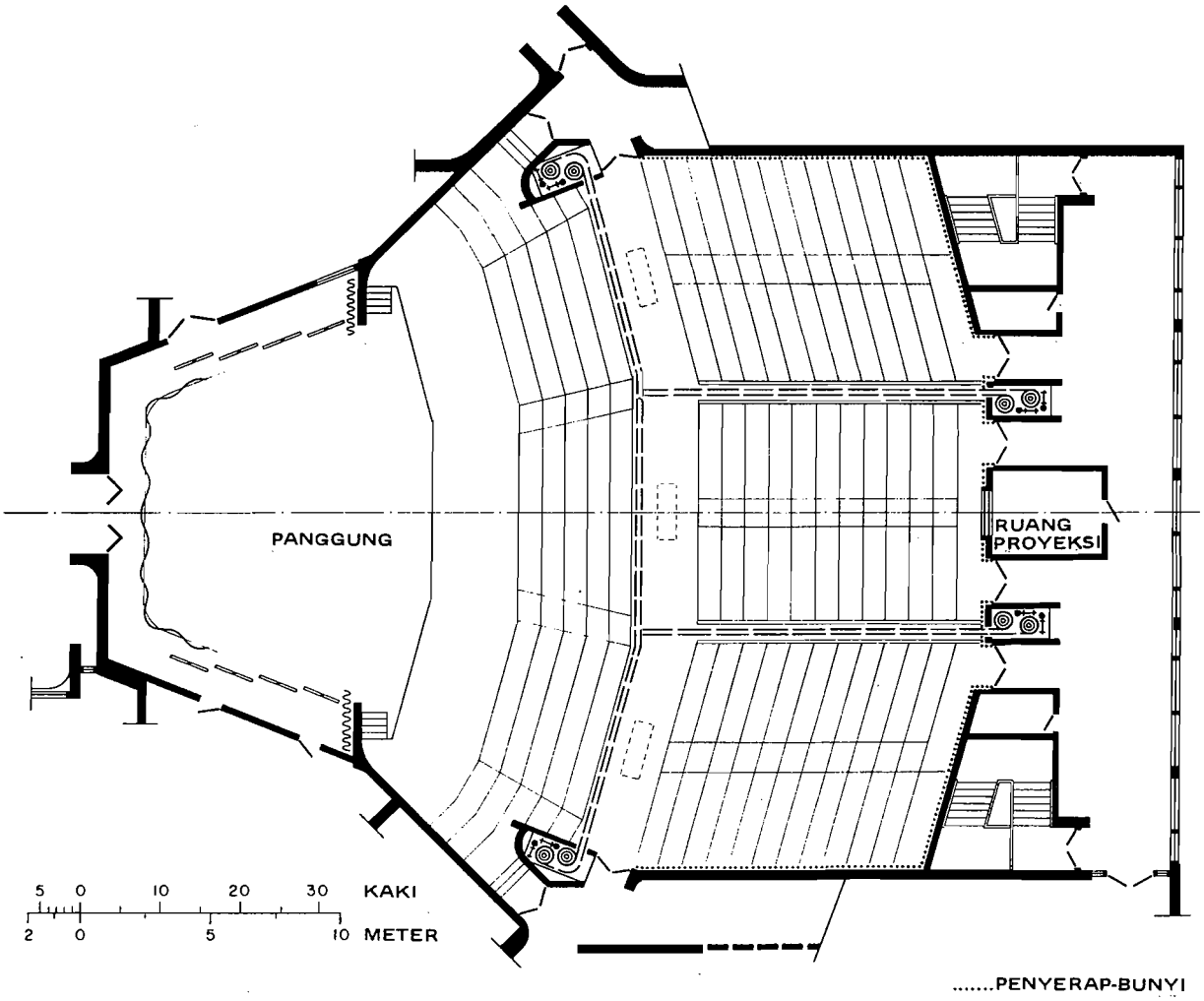
Perancangan wilayah/zona ruang-ruang penahan yang melindungi auditorium dari sumber bising eksterior secara baik akan menyebabkan penggunaan dinding-dinding batas insulatif yang lebih sedikit, artinya lebih murah, sekeliling auditorium. Ruang-ruang di zona penahan (lobi, ruang depan, daerah sirkulasi, ruang makan, bar, kantor-kantor dan lain-lain) harus mempunyai langit-langit penyerap bunyi dan bila mungkin lantai yang berkarpet. Daerah sirkulasi harus

selalu ditutup dari auditorium dengan pintu. Bila suatu auditorium diletakkan berdampingan dengan yang lain (secara horisontal atau secara vertikal), suatu dinding atau lantai dengan performansi akustik yang cukup harus disediakan di antara mereka untuk memungkinkan penggunaan mereka secara serentak.

Kalau dalam pengendalian bising daerah tempat tinggal, kantor, hotel, rumah sakit, rumah makan dan lain-lain, penggunaan bising latar belakang yang kontinu, tak dikenal dan tak terlalu keras sebagai efek penyelimut tidak hanya boleh dilakukan tetapi sering bahkan diinginkan, maka dalam akustik auditorium bising penyelimut pada umumnya tak diinginkan. Sistem ventilasi dan pengkondisi udara untuk suatu auditorium harus dirancang sedemikian hingga tingkat bising yang dihasilkan oleh sistem adalah 5 sampai 15 dB di bawah tingkat bising latar belakang yang ditentukan dalam kriteria bising (Bab 15). Hal ini penting untuk mencegah gangguan bising mekanis terhadap inteligibilitas pembicaraan atau kenikmatan musik.

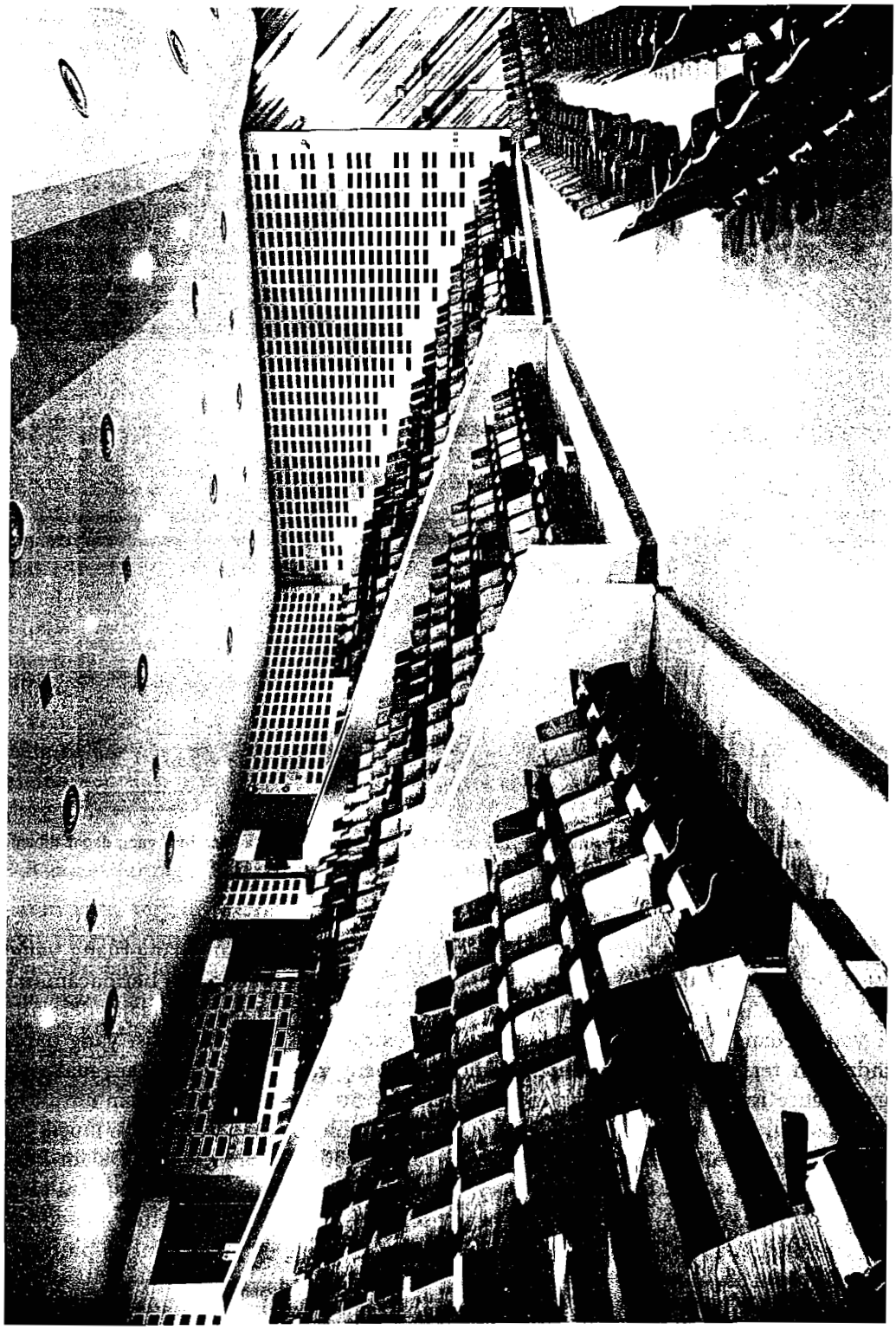
Masalah pengendalian bising dalam akustik auditorium langsung berhubungan dengan pengadaan kekerasan yang cukup karena bila tingkat bising latar belakang dalam ruang telah direduksi dengan sejumlah decibel yang cukup, maka kekerasan subyektif dari isi acara dengan sendirinya akan bertambah dengan jumlah yang sama.

Masalah bising yang umum dalam akustik ruang, timbul pada rancangan auditorium yang dapat dibagi dalam ruang-ruang dan auditorium serbaguna yang bertambah sering dibuat (Gambar 17.1 sampai 17.3). Sebelum merancang dan memilih partisi yang dapat dipindahkan

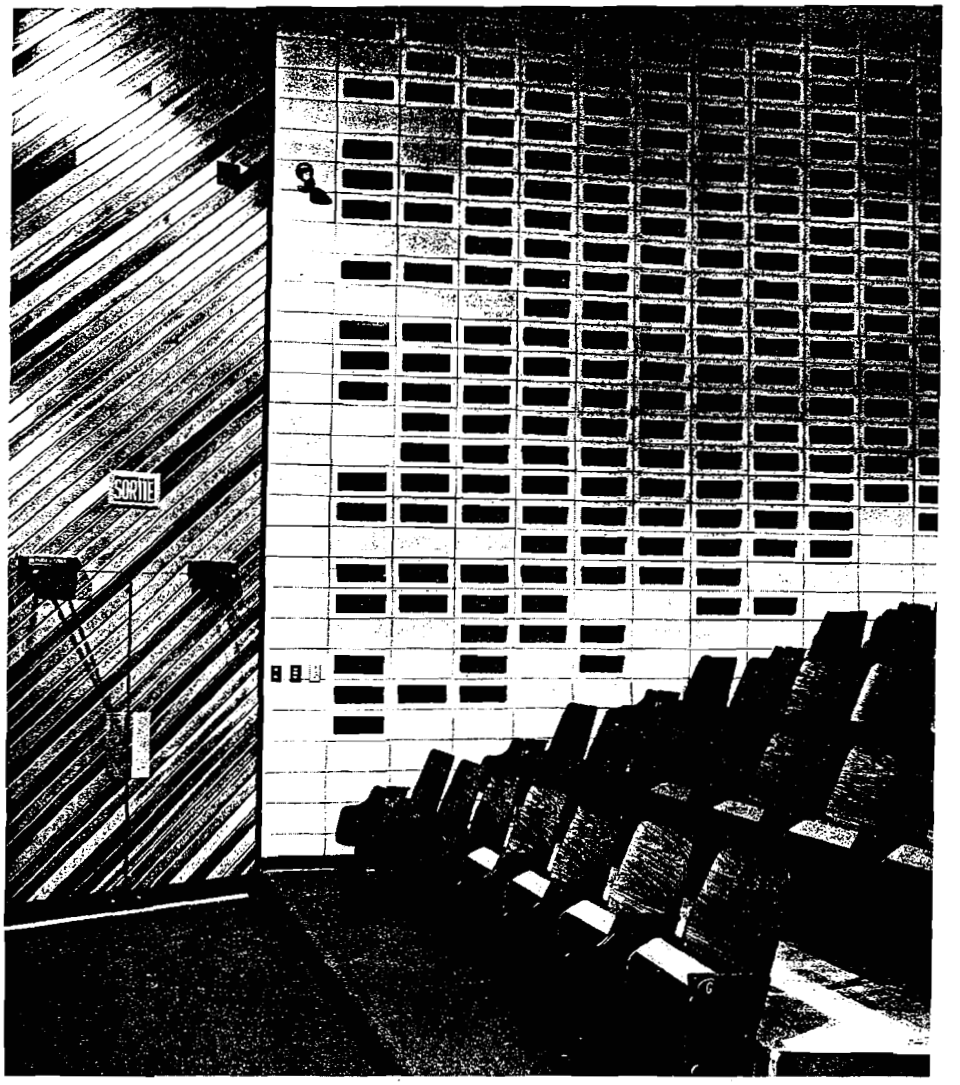


DIVISIBLE HIGH-SCHOOL AUDITORIUM, LAPRAIRIE, QUE. (1969) KAPASITAS: 700
LEMAY LECLERC TRAHAN ARSITEK, L.L. DOELLE KONSULTAN AKUSTIK DENAH

Gambar 17.1 Denah auditorium sekolah yang dapat dibagi.



Gambar 17.2 Interior auditorium dalam Gambar 17.1 yang dapat dibagi, dengan 700 tempat duduk. (Foto oleh Studio Bowe)



Gambar 17.3 Pengaturan akustik (penyerap resonator-celah) sepanjang tembok samping auditorium yang dapat dibagi pada Gambar 17.2 (Foto oleh Studio Bowe.)

dalam auditorium yang dapat dibagi ke dalam ruang-ruang, penggunaan ruang-ruang yang terbagi-bagi tersebut harus dijelaskan untuk menentukan dugaan intensitas dari bermacam-macam acara bunyi. Bila ruang-ruang akan digunakan untuk tujuan instruksi verbal saja, derajat insulasi bunyi yang sedang (STC 40 sampai 45 dB) harus disediakan oleh partisi yang dapat dipindah-pindahkan tersebut. Jika peralatan audio atau pengeras suara digunakan, maka sistem partisi yang lebih efisien secara akustik (STC 45 sampai 50 dB) harus digunakan untuk mengisolir sumber bunyi. Dan bila suatu bagian dari ruang dipilih untuk pertunjukan musik hidup, derajat insulasi bunyi yang lebih tinggi (STC 50 sampai 60 dB) diperlukan. Dalam keadaan khusus dari auditorium yang dapat dibagi-bagi ini, bunyi yang dihasilkan oleh sistem ventilasi atau pengkondisi udara dapat menyediakan bising selimut yang berguna untuk menenggelamkan bunyi tak diinginkan yang menembus lewat partisi yang dapat dipindah-pindah, jadi mereduksi syarat insulasi bunyi.

Auditorium yang dapat dibagi-bagi juga menambah masalah akustik ruang, seperti pengendalian dengung secara serentak dalam ruang yang terbagi-bagi dan tak terbagi-bagi, pengadaan kekerasan dalam ruang yang terbagi lewat ketinggian bukaan partisi yang dapat dipindahkan yang terbatas, eliminasi pemantulan yang merusak antara dinding yang tak diberi lapisan akustik dan dinding yang berhadapan, dan pengendalian pembicaraan silang (cross talk) antara ruang-ruang yang dibagi lewat ruang langit-langit dan saluran udara ventilasi.

Lalu-lintas yang padat dewasa ini, sering mengharuskan perancangan jendela dengan insulasi bunyi yang sangat efisien dan atap dengan langit-langit gantung yang padat (Bagian 14.4.2). Pemasangan langit-langit gantung sekarang ini hampir tak dapat dihindari dalam auditorium karena dibutuhkan untuk menyediakan tempat bagi pelayanan (service) ventilasi, pengkondisian udara dan peralatan listrik di atas ruang. Eliminasi jendela merupakan sumbangan yang efektif terhadap pengendalian bising auditorium, dan dengan sistem ventilasi dan pengkondisi udara yang sekarang dapat diperoleh, maka hal ini harus dianggap sebagai prosedur perancangan yang normal bilamana bising luar yang berlebihan harus dihindari.

Bila suatu auditorium dipengaruhi oleh getaran yang berasal dari kereta api darat atau di bawah tanah, jalur bus yang berdekatan dan lain-lain, maka tindakan pencegahan tertentu harus diambil untuk mengeliminasi getaran-getaran ini dari struktur bangunan (Bagian 16.4).

17.2 Studio

Perbedaan antara pengendalian bising studio dan pengendalian bising auditorium lain terletak pada derajat pengendaliannya. Semua bising dari luar dan dalam bangunan yang cenderung mengganggu penggunaan studio harus dikurangi sampai suatu tingkat yang sangat rendah. Ini bukan masalah tingkat bising berapa yang nyaman atau ekonomis, tetapi tingkat bising berapa yang aman bila siaran radio, siaran televisi, atau perekaman yang memuaskan ingin dicapai (Bab 10).

Kriteria bising yang direkomendasi untuk bermacam-macam studio diberikan dalam Tabel 15.2; pengadaan nilai NC ini membutuhkan pertimbangan-pertimbangan Bab 14 yang teliti. Selain itu, perhatian khusus harus diberikan pada rekomendasi rancangan yang dibahas di Bagian 13.6.4.

Dalam rancangan arsitektur bangunan-bangunan studio, pembentukan zona penahan/penghalang sekitar kawasan studio sangat menguntungkan. Penjajaran (juxtaposition) bermacam-macam penggunaan dalam bangunan studio juga membutuhkan perhatian yang banyak untuk mencegah transmisi bising yang tak diinginkan lewat lantai.

Penekanan bising terutama yang berasal dari sistem ventilasi dan pengkondisi udara, penting dalam pengendalian bising studio-studio, dan telah dibahas dalam Bab 16. Pemasangan peralatan ventilasi atau pengkondisi udara yang bising dalam jarak sekitar 100 ft (30 m) dari dinding terdekat atau lantai studio harus dicegah.

17.3 Ruang Olahraga, Kolam Renang dan Lorong-lorong Bola Gelinding (Bowling)

Kegiatan yang terjadi di tempat-tempat ini menimbulkan bising yang tidak hanya akan mengganggu peserta dan penonton tetapi juga dapat mengganggu fungsi ruang-ruang didekatnya. Penggunaan lapisan akustik pereduksi bising dalam jumlah yang banyak merupakan keharusan karena akan menahan benturan mekanik (dalam ruang olahraga) dan juga menahan kelembaban (dalam kolam renang).

17.4 Bangunan Tempat Tinggal

Bangunan tempat tinggal yang dibangun di daerah pedesaan atau derah pinggir kota yang tenang membutuhkan insulasi bunyi dengan derajat yang lebih tinggi daripada bangunan tempat tinggal yang dibangun di daerah yang bising, karena bising dari luar atau dari tetangga lebih mudah terdengar dalam lingkungan yang tenang dibanding lingkungan bising. Penghuni apartemen yang terbiasa dengan lingkungan bising dari daerah berpenduduk padat biasanya kurang kuatir dengan insulasi bunyi dibanding penghuni yang terbiasa dengan lingkungan yang tenang.

NC yang direkomendasi untuk rumah diikutsertakan dalam Tabel 15.2 dan 15.3. Undang-undang bangunan berbagai negara dan peraturan-peraturan bangunan yang progresif dari administrasi negara bagian, propinsi, kotamadya di seluruh dunia membuat persyaratan pengendalian bising, dan menyatakan nilai insulasi bunyi yang diinginkan untuk tembok-tembok dan lantai-lantai.

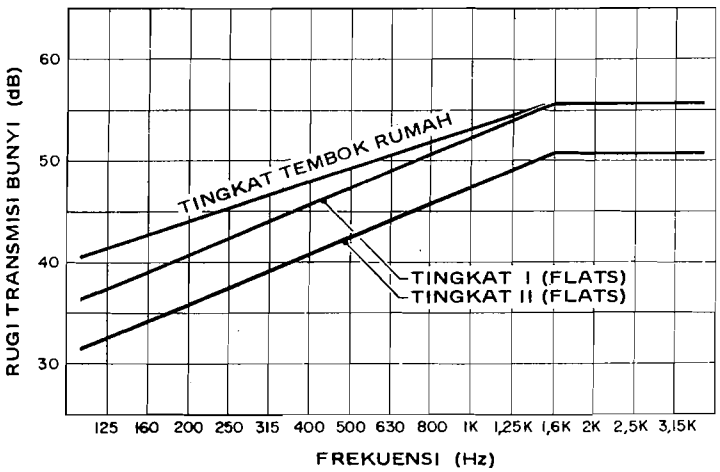
National Building Code Canada (diterbitkan 1970) menyarankan agar dalam bangunan-bangunan tempat tinggal, tembok dan lantai menyediakan nilai STC tidak kurang dari 45 dB antara unit-unit tempat tinggal dalam bangunan yang sama dan antara unit tempat tinggal dan tiap ruang (space) yang sama untuk dua atau lebih unit tempat tinggal. Ruang pelayanan (service room), atau ruang-ruang seperti gudang, tempat cuci, bengkel, ruang perawatan bangunan, atau garasi yang melayani lebih dari satu unit tempat tinggal, harus dipisahkan dari unit tempat tinggal oleh suatu konstruksi yang menyediakan nilai STC yang tidak kurang dari 45 dB. Persyaratan insulasi bunyi dari National Building Code Canada bukan suatu keharusan; tetapi mereka merupakan saran. Ini diserahkan pada tanggungjawab pejabat kotapraja untuk membuat syarat (code) bangunan ini, atau bagian daripadanya menjadi suatu kewajiban bila dikehendaki demikian. Undang-undang ini; sebenarnya, dikonsep dalam bentuk peraturan, sehingga ia dapat diterima atau dijadikan undang-undang bagi penggunaan sah (legal use) oleh tiap kotamadya.

Kriteria insulasi bunyi antara unit-unit tempat tinggal yang direkomendasi oleh U.S. Federal Housing Administration didasarkan pada 3 tingkatan untuk memenuhi jangkauan geografis yang ada, lingkungan dan kondisi ekonomis yang luas, permintaan penghuni, dan faktor-faktor lain. Kriteria *tingkat I* berlaku terutama untuk daerah pedesaan yang sunyi. Sepenuhnya untuk pemukiman, dan daerah pinggir kota, dalam hal tertentu untuk bangunan bertingkat di atas lantai ke delapan. Kriteria *tingkat II* berlaku untuk bangunan tempat tinggal yang dibangun dalam lingkungan yang relatif bising, biasanya di daerah kota dan pinggir kota; kategori ini meliputi sebagian besar bangunan tempat tinggal dan karena itu harus dianggap sebagai penuntun dasar. Kriteria *tingkat III* merupakan persyaratan minimal yang dapat digunakan untuk lokasi yang pasti/jelas bising, seperti daerah pusat kota. Dalam semua tingkat, konstruksi tembok dan pemasangan lantai langit-langit antara unit tempat tinggal harus mempunyai nilai STC dan IIC (dibahas dan digambarkan dalam Bagian 14.1.6 dan 14.2) yang sama dengan atau lebih besar dari nilai-nilai yang diberikan dalam Tabel 17.1.

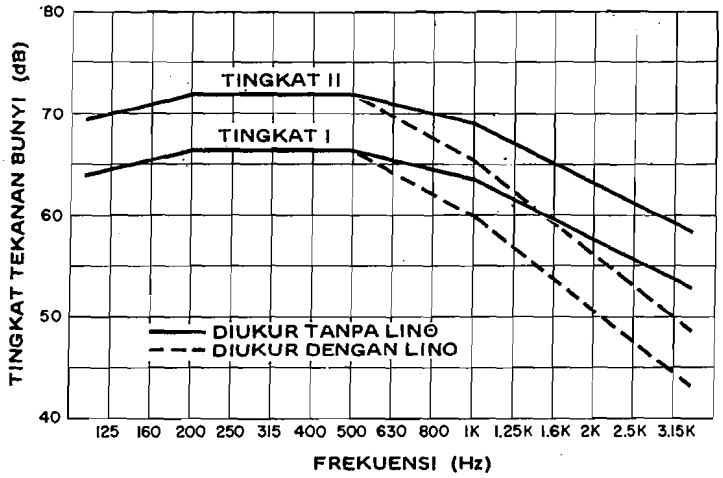
Di Inggris tiga kontur tingkatan digunakan untuk insulasi bunyi antara unit-unit tempat tinggal (Gambar 17.4 dan 17.5). *House party-wall grade* dipakai untuk insulasi bunyi yang

TABEL 17.1 Kriteria Insulasi Bunyi Lewat Udara dan Bunyi Benturan antara Unit Tempat Tinggal yang Direkomendasi oleh the U.S. Federal Housing Administration

	Insulasi bunyi yang dibutuhkan		
Jenis konstruksi	Tingkat I	Tingkat II	Tingkat III
Tembok	STC ≥ 55	STC ≥ 52	STC ≥ 48
Rakitan lantai langit-langit	STC ≥ 55	STC ≥ 52	STC ≥ 48
	IIC ≥ 55	IIC ≥ 52	IIC ≥ 48



Gambar 17.4 Kontur tingkatan untuk insulasi bunyi lewat udara di Inggris.



Gambar 17.5 Kontur tingkatan untuk insulasi bunyi benturan di Inggris.

lewat udara antara rumah-rumah. Kriteria *tingkat I* diamati di antara flat bila derajat insulasi bunyi yang lewat udara dan lewat struktur yang lebih tinggi dibutuhkan. *Tingkat II* digunakan di antara flat bila derajat insulasi bunyi yang lewat udara dan lewat benda padat yang lebih rendah dapat diterima. Untuk ketiga tingkat tersebut, penyimpangan 1 dB yang di rata-rata pada seluruh jangkauan frekuensi yang sedang diperhatikan, diperbolehkan.

Negara-negara lain memakai kontur tingkatan yang sama dengan yang digunakan di Inggris, tetapi dengan nilai-nilai yang agak berbeda.

17.5 Hotel dan Motel

Dalam pengendalian bising di hotel dan motel tiga jenis ruang membutuhkan perhatian: (1) ruang umum (public and social rooms), seperti ruang makan, ruang baca, kamar duduk, ruang dansa, ruang rekreasi dan ruang sidang, (2) ruang tamu, (3) daerah sirkulasi, seperti lobby, ruang depan, dan serambi.

Syarat akustik utama dalam ruang umum tersebut adalah perlindungan yang cukup terhadap bising yang berasal dari sumber-sumber di luar atau dari ruang-ruang yang berdekatan dan pengendalian bising dan dengung dalam ruang itu sendiri. Bila ruang umum harus dibagi menjadi dua atau lebih ruang oleh penyekat yang dapat dipindah-pindah, maka penyekat harus mempunyai nilai STC 35 sampai 50 dB, tergantung pada fungsi yang diinginkan oleh ruang yang disediakan.

Masalah pengendalian bising ruang tamu identik dengan masalah pengendalian bising yang ditemui dalam bangunan apartemen, karena tiap ruang motel dan hotel harus dianggap sebagai apartemen yang terisolasi. Untuk hotel-hotel dan motel-motel kelas ekonomi, nilai STC 40 sampai 45 dB disarankan antara ruang-ruang yang berdampingan dan antara ruang dan serambi. Untuk hotel dan motel kelas satu atau yang mewah, pemisahan yang sama harus mencapai nilai STC 45 sampai 50 dB. Hubungan langsung lewat pintu antara ruang tamu yang berdampingan harus dihindari, kecuali pintu dengan insulasi bunyi atau pintu ganda yang dipasang antara ruang-ruang itu. Perhatian khusus harus diberikan pada eliminasi bising mekanik dan pembicaraan silang antara ruang-ruang berdampingan.

Pemberian karpet dalam semua ruang, terutama sepanjang daerah serambi dan sirkulasi adalah penting, untuk mengeliminasi bunyi langkah-langkah kaki.

Tembok-tembok luar harus mempunyai nilai STC 45 sampai 60 dB, tergantung pada kebutuhan setempat dan kondisi lapangan.

17.6 Sekolah

Pengendalian bunyi tiap bangunan pendidikan membutuhkan pertimbangan berikut:

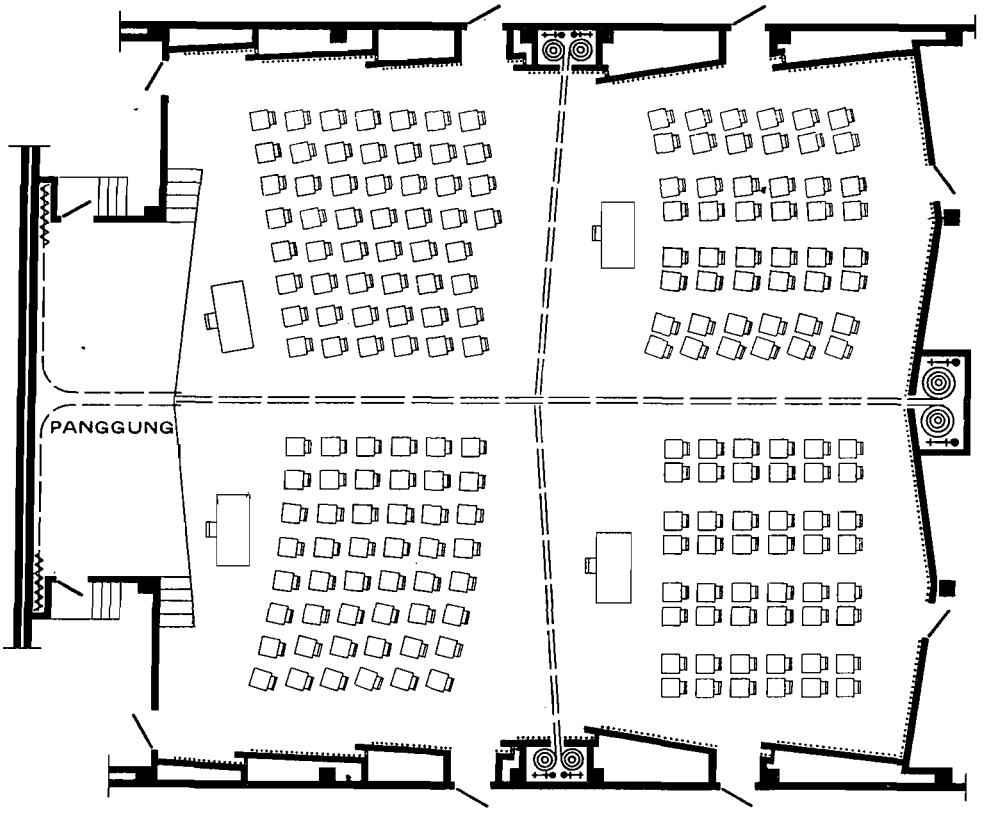
1. Pemilihan tempat dan perencanaan tempat (site) (Bagian 13.6.3).

2. Perancangan akustik ruang dari ruang-ruang kelas, ruang kuliah, auditorium, ruang olahraga, ruang musik, ruang pandang-dengar dan lain-lain (Bab 6 sampai 8).

3. Pengendalian bising eksterior dan interior dalam seluruh bangunan (Bab 13 sampai 16).

Masalah-masalah akustik sedang bertambah dalam bangunan pendidikan karena penyimpangan dari cara-cara yang biasa. Dengan mengakui perubahan sebagai elemen penting dalam proses pendidikan, perencana sedang menggabungkan konsep dapat diubah (changeability) atau keluwesan (flexibility) ke dalam bangunan-bangunan pendidikan baru. Ini terutama jelas dalam arah perkembangan yang mendorong/menganjurkan kebebasan yang seluas-luasnya dalam pengaturan ruang kelas lewat eliminasi pintu-pintu dan penyekat-penyekat permanen. Konsep rancangan ini menyukai penggunaan partisi yang dapat dipindahkan, jadi menyediakan kemungkinan untuk menyesuaikan ukuran ruang kelas untuk memenuhi persyaratan ruang pada saat itu. Gambar-gambar 17.6 dan 17.7 menunjukkan denah dan interior ruang kelas yang dapat dibagi dengan menggunakan penyekat dengan koil ganda yang menggeser secara horisontal. Tembok-tembok ini mempunyai nilai STC di atas 43 dB, dan menyediakan derajat privasi akustik yang relatif tinggi bagi pemakai dalam ruang kelas di luar (sectioned off). Gambar 17.8 menggambarkan detail penyekat yang dapat dipindahkan yang digunakan dalam denah.

Gambar 17.9 menunjukkan denah auditorium sekolah yang dapat dibagi yang memuat dua ruang kuliah dengan 70 tempat duduk, yang dapat berputar. Tiap unit yang berputar dapat dihubungkan dengan dua panggung demonstrasi. Pengaturan/denah ini terutama cocok untuk

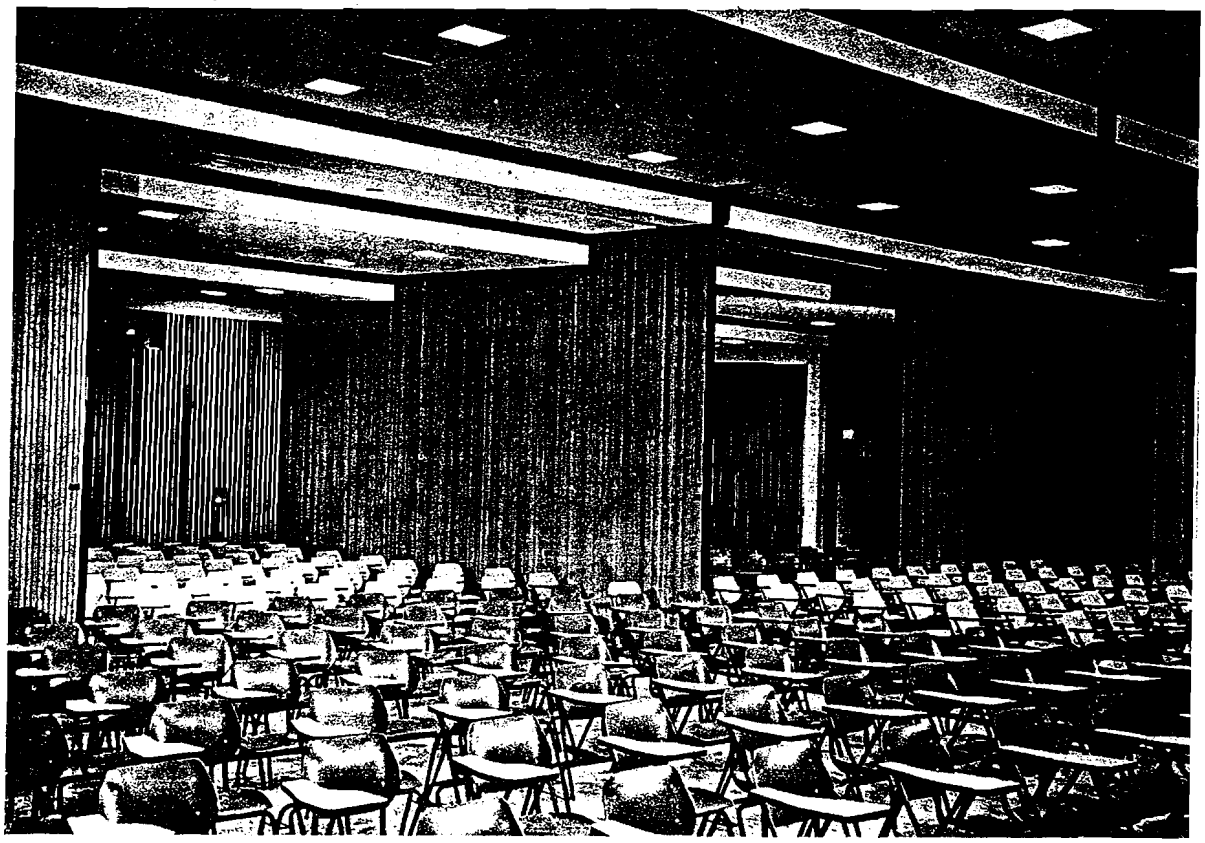


..... PENYERAP-BUNYI

10 0 10 20 KAKI
3 0 5 METER

LABELLE LABELLE MARCHAND GEOFFROY ARSITEK, L.L. DOËLLE KONSULTAN AKUSTIK DENAH

Gambar 17.6 Denah ruang kelas yang dapat dibagi, di Ecole Secondaire Regionale, Vaudreuil, Quebec (1965).



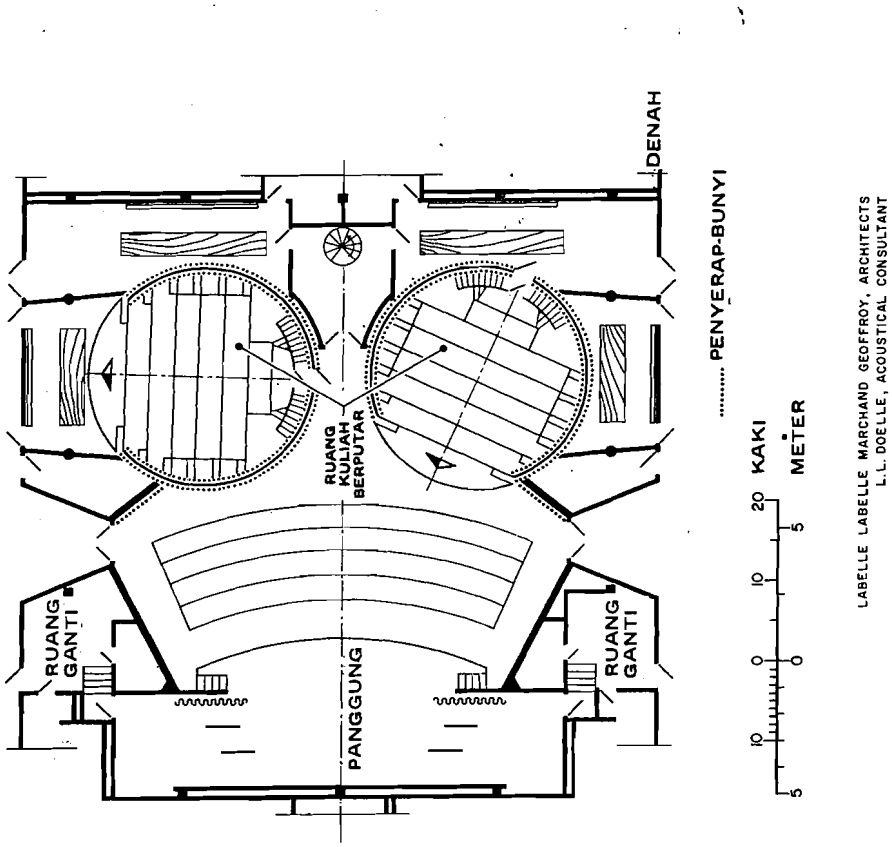
Gambar 17.7 Interior ruang kelas yang dapat dibagi pada Gambar 17.6, dengan partisi yang dapat dipindahkan (dinding koil-ganda) sedang bergerak.

kuliah-kuliah kimia atau fisika, yang memungkinkan persiapan dalam satu mimbar/panggung demonstrasi ketika kuliah sedang diberikan dari ruang lain.

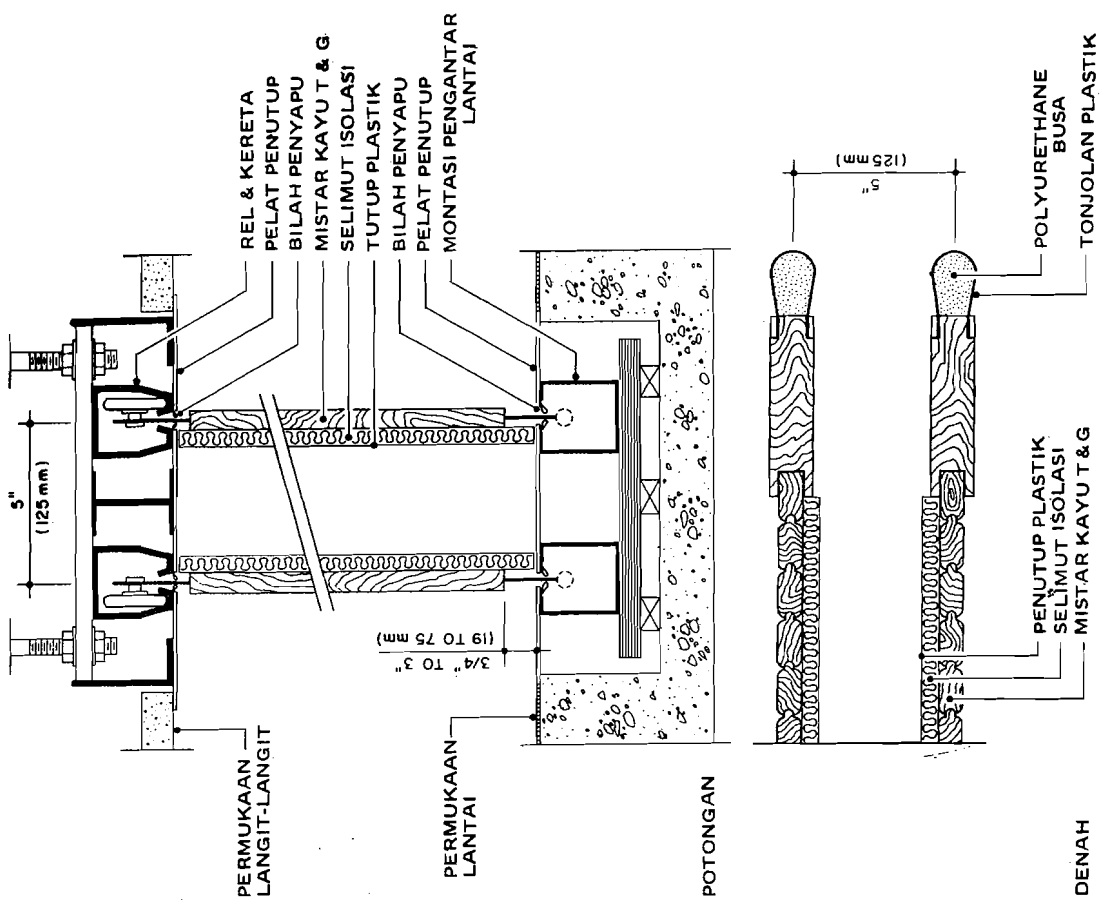
Gambar 17.10 menggambarkan ruang pengajaran-kelompok (team-teaching) di sekolah dasar yang terdiri dari sejumlah unit daerah. Penyekat dihilangkan sama sekali dari ruang yang luas ini, di mana beberapa kelompok belajar bekerja secara serentak; satu-satunya pemisahan antara unit luasan adalah penyekat visual lewat layar yang dapat ditarik masuk (retractable). Pengaturan yang sangat luwes ini diakui menghilangkan biaya penyekat dan pintu-pintu, tetapi sebaliknya lebih banyak luas lantai harus disediakan untuk tiap mahasiswa daripada yang diperlukan dalam pengaturan yang konvensional dengan ruang kelas yang terpisah; daerah lantai harus diberi karpet dan langit-langit dilapisi dengan lapisan penyerap bunyi. Ruang kelas pengajaran kelompok di sekolah dasar menantang kepercayaan yang telah lama ada, yaitu bahwa nilai STC 35 sampai 45 dB adalah suatu keharusan antara ruang-ruang belajar. Denah ruang kelas standar stereotip nampaknya kalah dalam peperangan melawan ruang pengajaran-kelompok. Penyelidikan yang berhubungan dengan ini menyatakan bahwa lingkungan visual, termal dan penerangan secara keseluruhan dari daerah-daerah mengajar tampaknya lebih penting dari derajat pemisahan akustik di antara mereka. Bunyi belajar-mengajar yang timbul dari beberapa kelompok belajar dari ruang pengajaran kelompok nampaknya menghasilkan bising selimut yang dapat diterima oleh sebagian besar pemakai ruang.

17.7 Rumah Sakit

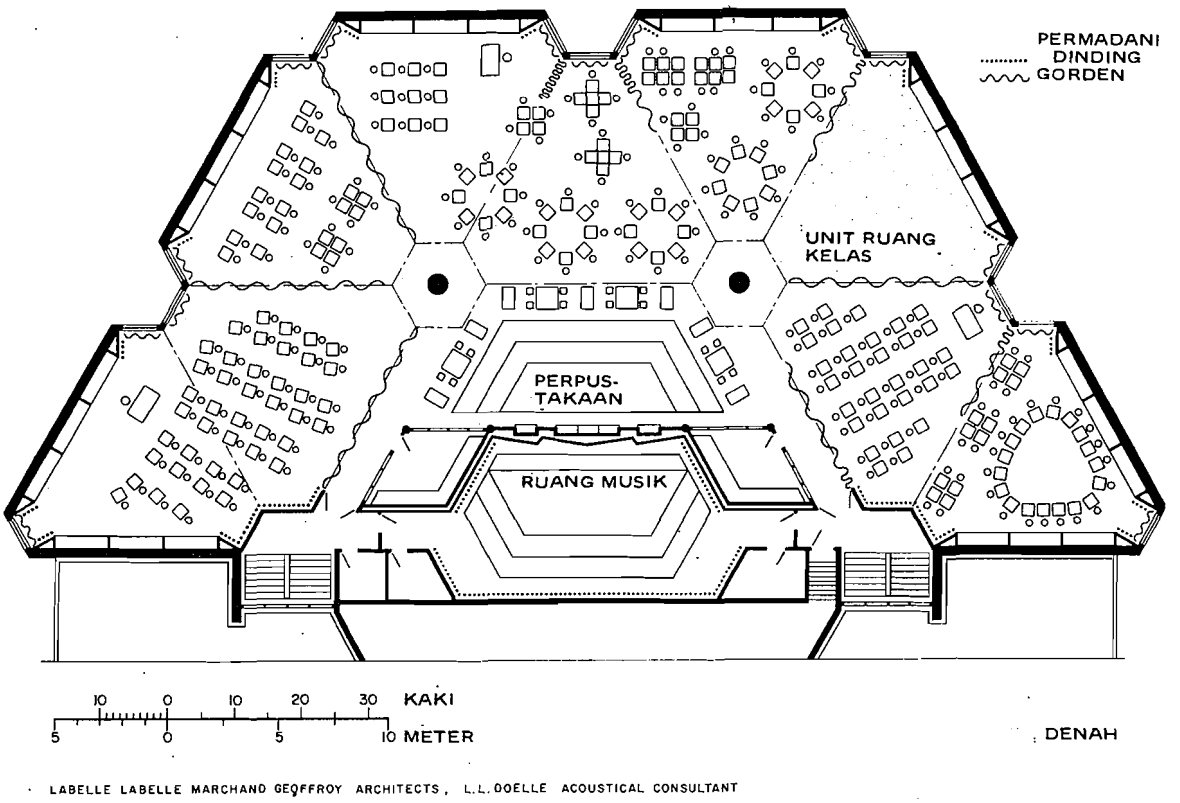
Sebuah rumah sakit tanpa perlu dipertanyakan adalah jenis bangunan yang penghuninya sangat dipengaruhi oleh bising. Karena itu, pemilihan lokasi yang sesuai harus dipertimbangkan dengan memberi perhatian pada bising lalu-lintas jalan raya, kereta api, dan bandar udara dan dari bising yang berasal dari tempat parkir.



Gambar 17.9 Denah auditorium sekolah dengan 276 tempat duduk yang dapat dibagi, terdiri dari dua buah ruang kuliah yang dapat berputar dengan 71 tempat duduk, Ecole Sicondaire Polyvalente, Cabano, Quebec (1968).



Gambar 17.8 Detail tembok partisi yang dapat dipindahkan dengan koil-ganda yang digunakan di ruang kelas yang dapat dibagi, yang ditunjukkan dalam Gambar 17.6 dan 17.7.



Gambar 17.10 Denah ruang kelas pengajaran-kelompok di sekolah dasar dekat Montreal (1972).

Bising eksterior dilampaui dalam jumlah oleh bising interior terutama karena unit mekanik yang harus ada di rumah sakit pada dasarnya adalah berisik. Bising interior disebabkan oleh:

1. Peralatan mekanik (mesin, ketel uap, pompa, kipas angin, ventilator, transformator, elevator, dan peralatan pengkondisi udara).
2. Fasilitas operasional (unit pipa air ledeng, lemari pendingin, mesin es, pencuci piring, mesin penstensil, autoclaves, dan fasilitas rumahtangga).
3. Fasilitas pelayanan pasien (tangki oxygen, kereta pengangkut, dan lemari-lemari instrumen).
4. Kegiatan-kegiatan karyawan (pembicaraan karyawan-karyawan, langkah-langkah kaki di serambi).
5. Pasien dan pengunjung.

Kriteria bising yang menyangkut rumah sakit telah dimasukkan dalam Tabel 15.2 dan Gambar 15.2.

Nilai STC rata-rata dari dinding-dinding dan lantai untuk bising yang lewat udara antara ruang-ruang pasien haruslah sekitar 45 sampai 50 dB, tergantung pada derajat kepentingan (importance) yang diberikan pada pertimbangan-pertimbangan akustik. Insulasi bunyi khusus harus diberikan untuk ruang bersalin dan ruang anak dan untuk ruang pasien-pasien yang cenderung bising. Nilai STC sekitar 50 sampai 55 (kadang-kadang 60) dB dibutuhkan antara ruang-ruang yang penghuninya sangat mudah dipengaruhi bising. Untuk tembok-tembok antara ruang pasien dan serambi, STC rata-rata sekitar 45 dB nampaknya akan memuaskan; dalam tembok-tembok ini pintu dengan insulasi bunyi yang efisien harus digunakan. Namun, lantai mengambang jarang dibutuhkan dalam rumah sakit.

Untuk mencapai sasaran perancangan untuk pengendalian bising persyaratan yang dijelaskan dalam bab-bab yang lalu harus diperhatikan. Selain itu, perhatian harus diberikan pada rekomendasi-rekomendasi berikut ini:

1. Dalam memilih tempat dan dalam perencanaan tempat, perhatian harus diberikan pada jarak dari sumber bising luar, pengaruh bangunan-bangunan tinggi didekatnya (kelas jalan raya, volume lalu-lintas, lampu lalu-lintas), dan penggunaan bangunan-bangunan tertentu sebagai penghalang bunyi.

2. Tempat bongkar muat barang dan tempat parkir (untuk pengunjung, anggota pengurus dan karyawan) harus ditempatkan dengan hati-hati, terutama untuk menghindari bising pada saat-saat yang tak diinginkan.

3. Bangunan-bangunan mekanis lebih baik ditempatkan dalam bangunan yang terpisah.

4. Lapangan yang tertutup harus dihindari, kecuali kamar-kamar yang menghadap lapangan di kondisi udaranya dengan jendela tetap yang ditutup secara kedap udara.

5. Serambi yang panjang, sebagai sumber bising yang potensial harus dihindari.

6. Pintu-pintu ke ruang yang berhadapan harus diselang-seling, dan semua pintu harus dilengkapi dengan penutup yang tenang.

7. Peralatan, fasilitas operasional, dan fasilitas pelayanan pasien harus dipilih, dipasang dan dioperasikan pada keluaran bising yang minimum. Pada tiap bagian peralatan tiap usaha harus dilakukan untuk mengganti bahan yang keras dengan bahan elastik.

Ruang yang digunakan bagi tujuan pemberian pelajaran, konperensi, atau pertemuan, harus diatur supaya mereka menyediakan kondisi akustik yang baik untuk inteligibilitas pembicaraan (Bab 7).

Sebenarnya semua ruang rumah sakit harus diatur sedikit banyak dengan bahan penyerap bunyi untuk mereduksi tingkat bising. Lapisan akustik ini adalah suatu pelengkap bagi insulasi yang memuaskan antara ruang-ruang yang berdampingan, dan bukan suatu pengganti untuk itu.

Bahan-bahan akustik (Bab 5) harus dipilih dengan hati-hati supaya mereka tidak mengganggu persyaratan kebersihan. Lantai plastic-faced mineral-fiber, langit-langit akustik metal pan dengan lapisan mineral-wool, atau selimut mineral-wool yang ditutup dengan papan-papan berlubang memenuhi persyatatan ini. Lantai harus ditutup dengan penutup elastik (tegel karet, tegel gabus, tegel vinyl atau linoleum) untuk mereduksi bising benturan.

17.8 Kantor

Pengendalian bising yang praktis dalam kantor harus mencakup (1) perlindungan terhadap bising dari berbagai sumber luar; (2) insulasi horisontal dan vertikal yang cukup antara masing-masing ruang untuk menjamin kerahasiaan pembicaraan (speech privacy), artinya, pembicaraan yang berasal dari satu kantor tidak boleh terdengar dengan jelas dalam kantor yang berdampingan; dan (3) reduksi bising yang cukup dalam ruang kantor tertentu.

Berikut ini adalah sumber-sumber bising yang biasa ada dalam kantor-kantor:

1. Bising luar yang berasal dari lalu-lintas, lapangan bermain, dan gelanggang.

2. Bising industri yang berhubungan dengan proses pabrik, mesin-mesin pabrik, proyek pembangunan dan lapangan polisi (marshaling yards).

3. Bising mekanik yang disebabkan oleh sistem pemanas, ventilasi dan pengkondisi udara, pipa air ledeng, elevator, eskalator, komputer, dan tabung angin.

4. Bising kantor yang khas yang ditimbulkan oleh pembicaraan, sirkulasi pada lantai dengan permukaan keras, membuka dan menutup pintu, dan oleh mesin-mesin perusahaan, teleprinter, mesin tik, sistem pemanggilan (call systems) dan telepon.

Kriteria bising yang disarankan untuk kantor-kantor telah dibahas dalam Bagian 15.2 dan 15.4. Untuk mencapai kriteria tersebut, metoda yang dijelaskan dalam Bagian 13.6 dan Bab 16 harus diperhatikan. Contoh tembok dan lantai praktis yang digunakan antara kantor-kantor digambarkan dalam Appendiks B dan C.

Pembagian ruang kantor yang dapat disewakan dengan penyekat ringan yang dapat dipindahkan, setelah penyelesaian bangunan, telah menjadi makin biasa. Penampilan akustik kebanyakan penyekat-penyekat ini yang didirikan sampai bagian bawah langit-langit gantung yang tembus (transparan) secara akustik, jarang melampaui nilai STC 25 sampai 30 dB. Dalam

kebanyakan kasus hal ini tidak cukup kecuali bising latar belakang demikian tingginya hingga ia menutupi bunyi yang datang lewat penyekat yang ringan.

Dalam pertimbangan penyekat yang ringan, siap pakai atau dapat dipindah yang dibangun sampai langit-langit gantung, perhatian khusus harus diberikan pada hal-hal berikut:

1. Semua lubang, celah, sambungan pada dinding samping, lantai, dan sambungan langit-langit harus ditutup dengan baik.

2. Penghalang bunyi harus disediakan di atas langit-langit dengan karakteristik reduksi bising yang tidak akan dikurangi oleh pipa-pipa, saluran dan kabel yang dipasang di ruang langit-langit.

Pengaruh reduksi bising oleh lapisan akustik dalam ruang-ruang telah dibahas dalam Bagian 13.6.8.

Kecenderungan yang populer ke arah pemakaian *landscaped offices* (kantor terbuka) yang besar, dan tak terbagi-bagi telah menimbulkan masalah akustik yang tidak biasa dalam perancangan kantor. Dalam kantor open-plan (ruang terbuka) penyekat dengan ketinggian penuh tidak dapat digunakan; karena itu bising yang tersebar yang disebabkan oleh pembicaraan, mesin ketik, peralatan kantor dan lain-lain, akan diterima pada tingkat yang relatif lebih tinggi, yang menyebabkan banyak kekurangan privasi akustik, dan kadang-kadang mengganggu. Harus ditekankan bahwa bagian langsung dari bising ini akan merambat secara bebas, tak peduli berapa lapisan penyerap bunyi telah dipasang dalam kantor atau bagaimana pun efektifnya lapisan ini. Hanya bagian yang dipantulkan dari gelombang bising ini akan direduksi oleh penggunaan karpet lantai dan dinding, dan oleh langit-langit yang diberi lapisan akustik dan lain-lain. Harus diingat juga bahwa bahkan langit-langit penyerap bunyi yang tinggi, dengan misalnya koefisien penyerap bunyi 0.70 akan menyerap 70 persen dari energi bunyi dan akan memantulkan 30 persen daripadanya (Bagian 4.2). Kalau suatu landscaped office menghasilkan keuntungan fungsional, fisik, keindahan, lingkungan dan ekonomis yang lebih besar dibandingkan dengan lantai kantor yang dibagi dalam ruang-ruang secara konvensional, pencapaian interior yang tahan bunyi dengan kerahasiaan pembicaraan yang memuaskan jelas tidak laik (feasible) dalam open-plan office. Namun, pemakaian lapisan akustik yang banyak sepanjang dinding-dinding ruang akan menciptakan lingkungan akustik yang relatif mati yang akan memuaskan secara akustik bagi sebagian besar pemakai ruang.

Gambar 17.11 menunjukkan denah lantai landscaped office, dan Gambar 17.12 memperlihatkan suatu interior.

Persyaratan yang paling penting dalam perancangan akustik landscaped office adalah sebagai berikut:

1. Semua daerah lantai harus diberi karpet untuk menyerap bunyi yang lewat udara dan untuk menghindari bising langkah kaki. Karpet harus tebal dan dipasang di bagian atas lapisan bawah (underlay) yang elastik (Bagian 5.1.4).

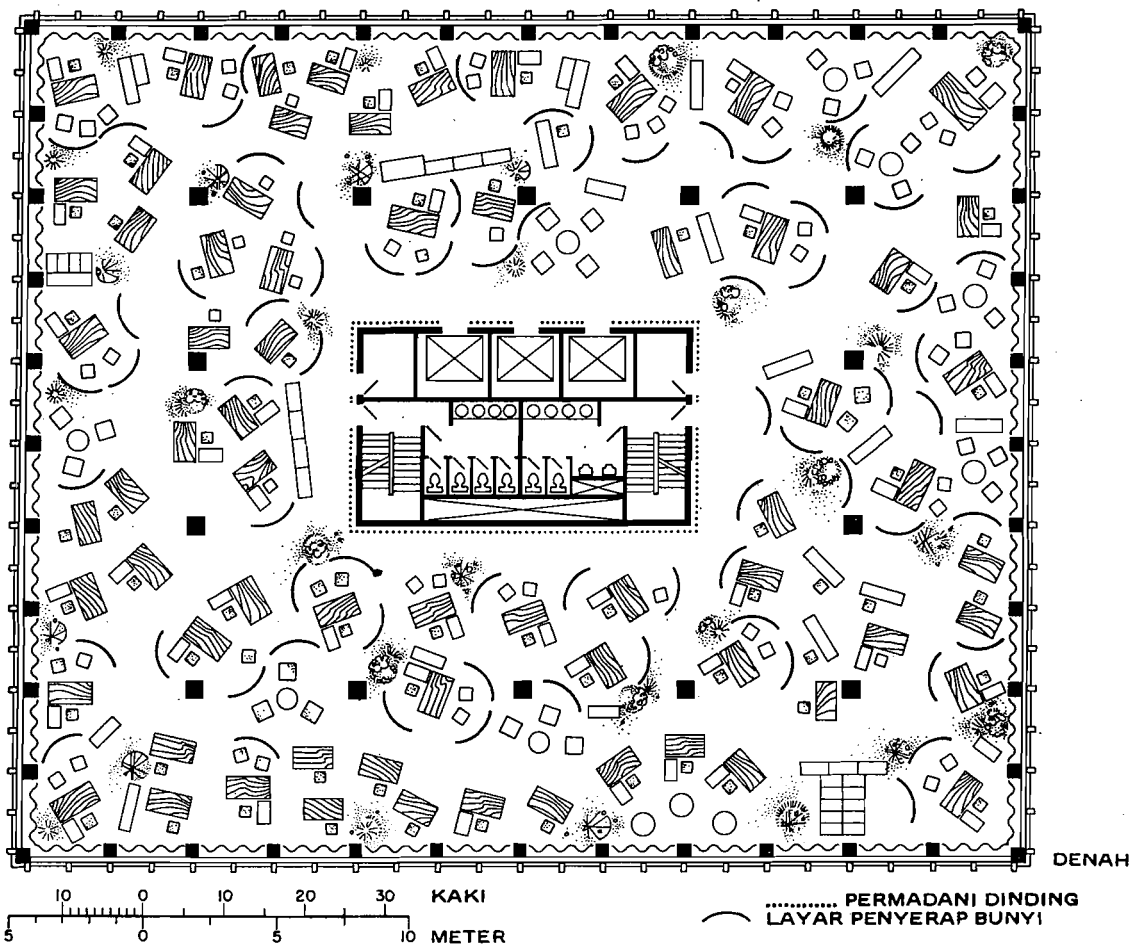
2. Seluruh langit-langit harus dilapisi dengan bahan penyerap bunyi yang tinggi, karena koefisien penyerapan bunyi tiap permukaan berkurang bila gelombang bunyi datang dengan sudut miring (grazing incidence), seperti yang terjadi sepanjang langit-langit. Untuk alasan ini suatu jenis langit-langit yang mencirikan baffle vertikal yang menyerap bunyi lebih disukai untuk langit-langit horisontal yang sederhana.

3. Luas total dari kaca jendela tidak boleh melebihi 40 persen luas tembok luar, dipandang dari ruang kantor bagian dalam. Tirai penyerap bunyi harus digunakan sepanjang seluruh tembok yang difenestrasi.

4. Semua permukaan dinding yang mengelilingi ruang kantor harus dilapisi karpet dengan penyerapan bunyi yang tinggi (Bagian 5.1.4).

5. Pembagi ruang (layar), yang mengadakan pemisahan visual antara ruang kerja (work stations) atau daerah kantor tertentu, hanya membutuhkan jumlah insulasi bunyi yang sedang karena gelombang bising yang menyebar, terutama pada frekuensi rendah, bagaimana pun akan membelok sekitar tepi-tepinya. Semua permukaan yang tampak dari layar-layar ini harus dilapisi dengan bahan penyerap bunyi (Gambar 17.13).

6. Distribusi peralatan kantor yang cukup bising (mesin ketik, telepon) harus serata



Gambar 17.11 Denah kantor lansekap di the Area Headquarters Building of the Canadian National Railways, London, Ontario. (1969. Staff perancang the Engineering Department and Department of Research and Development of the Canadian National Railways. L.L. Doelle, konsultan akustik.)

mungkin dalam semua ruang kantor. Peralatan kantor yang bising (penjumlah listrik, pemberi alamat, mesin pembuat rekening dan lain-lain) harus dikumpulkan dalam daerah tertentu, dan dikelilingi dengan jumlah lapisan penyerap bunyi yang maksimum, serta dipisahkan secara visual dari bagian yang tersisa dari kantor.

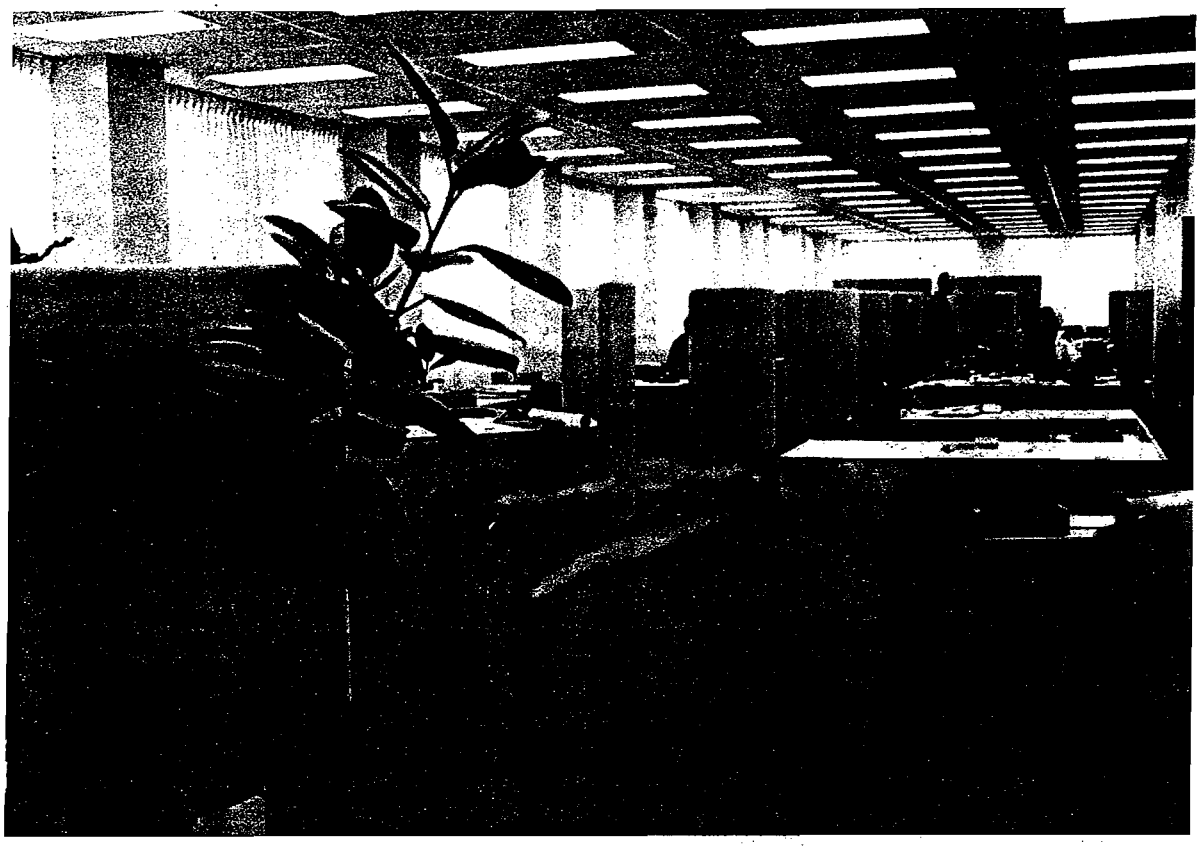
7. Bising dari sistem pengatur udara harus direduksi dengan baik namun tidak berlebihan (sekitar NC 35 sampai 40) karena landscaped offices membutuhkan tingkat bising selimut yang relatif tinggi.

8. Bila bising latar belakang yang diciptakan oleh sistem pengatur udara tidak cukup tinggi atau merata, maka bising selimut yang dikendalikan secara elektronik dapat dihasilkan dengan generator bising dan penguat yang mengumpani pengeras suara yang dipasang dengan baik sepanjang langit-langit.

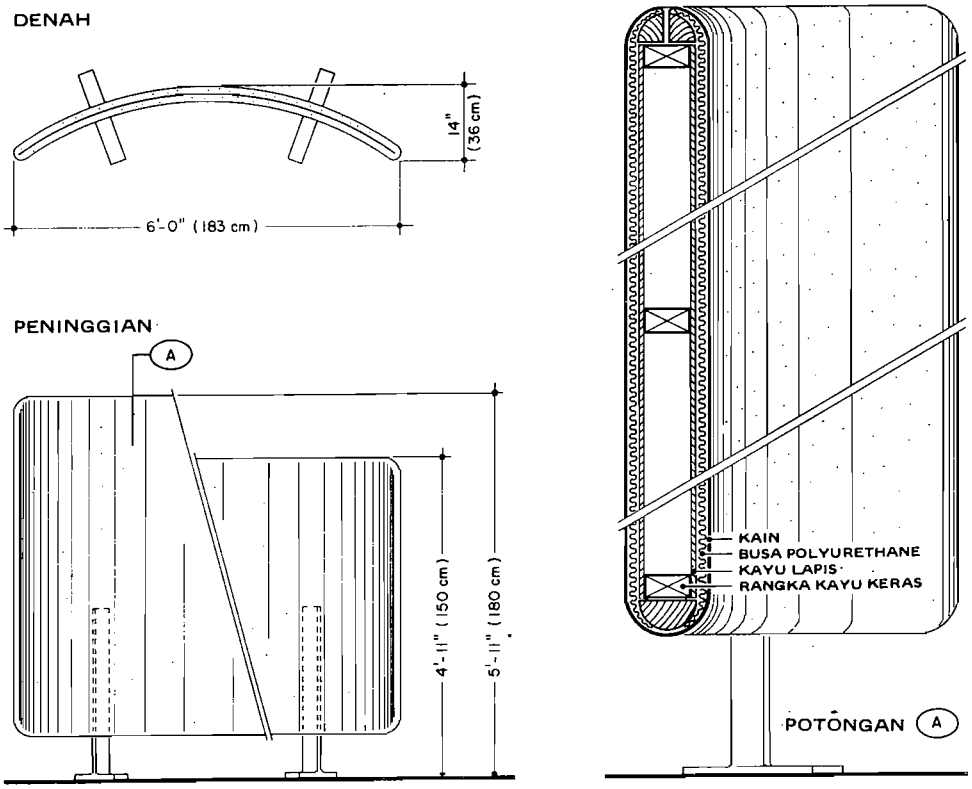
9. Daerah lantai yang diperuntukan bagi eksekutif atau sudut-sudut konperensi dan lain-lain, harus banyak dikelilingi oleh lapisan-lapisan penyerap bunyi dan dipisahkan secara visual dari daerah lantai yang sisa dengan menggunakan layar, pembagi ruang dan lain-lain.

10. Tanaman dan bunga-bunga harus didistribusikan dalam ruang kantor walaupun nilai akustiknya dapat diabaikan, karena mereka memberi pengaruh menenangkan secara psiko akustik.

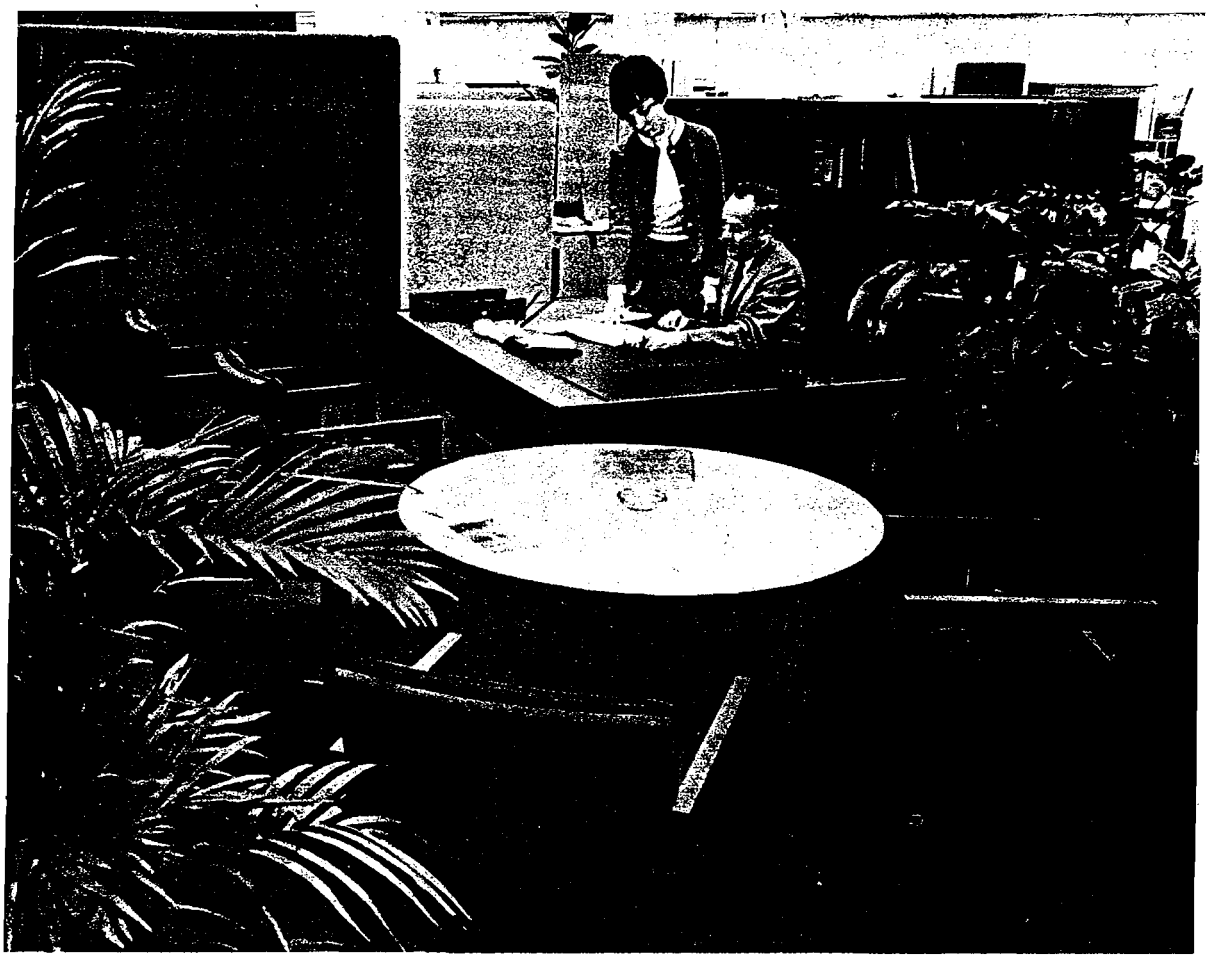
Gambar 17.14 menggambarkan ruang kerja landscaped office yang diperlihatkan dalam Gambar 17.11 dan 17.12.



Gambar 17.12 Interior kantor lansekap yang ditunjukkan dalam Gambar 17.11. (Foto oleh Canadian National Railwayss).



Gambar 17.13 Dua jenis sekat (pembagi ruang) penyerap bunyi yang digunakan di kantor lansekap yang ditunjukkan dalam Gambar 17.11 dan 17.12



Gambar 17.14 Gambar dekat suatu ruang kerja di kantor lansekap Canadian National Railways (Gambar 17.11 dan 17.12). Gambar menunjukkan elemen akustik yang penting: pemberian karpet pada lantai, langit-langit yang diberi lapisan akustik, sekat penyerap bunyi, perabot dengan sandaran empuk, rak buku, dan tanaman. (Foto oleh Canadian National Railways).

17.9 Musium dan Perpustakaan

Dalam musium dan perpustakaan tiap usaha yang masuk akal harus dilakukan untuk mengadakan lingkungan yang tenang yang penting untuk belajar atau membaca atau merenungkan pekerjaan seni. Ini menghendaki penggunaan jumlah bahan penyerap bunyi dalam jumlah yang cukup sepanjang permukaan bata untuk mereduksi RT sampai suatu minimum dan untuk mengurangi tiap bising dalam ruang yang ditimbulkan karena menjatuhkan buku, menutup pintu, batuk atau bercakap.

NC yang direkomendasi untuk perpustakaan diberikan dalam Tabel 15.2.

17.10 Rumah Makan dan Kafetaria

Masalah akustik di rumah makan dan kafetaria adalah hanya mengurangi dengung dan bising, yang sebagian besar ditimbulkan di dalam ruang-ruang ini atau di ruang yang berdampingan seperti dapur atau ruang pelayanan (service room).

Di rumah makan yang lebih mahal, elemen-elemen dekorasi ruang (tirai, karpet, panel dinding, lampu-lampu) menyumbang penyerapan bunyi. Selain itu, penggunaan lapisan akustik sepanjang permukaan yang memungkinkan (terutama langit-langit) harus dipertimbangkan. Untuk mencapai derajat reduksi bising yang dibutuhkan di kafetaria, adalah penting untuk memberi lapisan akustik pada langit-langit ruang makan, ruang pelayanan dan semua daerah yang berdampingan. Penggunaan penutup bunyi (sound lock) antara ruang makan dan dapur adalah selalu menguntungkan untuk menyingkirkan bising dapur dari ruang makan.

Di rumah makan dan kafetaria bahan-bahan akustik yang digunakan harus dapat menahan kelembaban, dapat dibersihkan dengan mudah, dan dapat dicat berulang-ulang.

Tabel 15.2 menunjukkan NC yang direkomendasi untuk rumah makan.

17.11 Bandar Udara

Fungsi utama dari bandar udara kota besar adalah menyediakan fasilitas yang cukup untuk transportasi orang dan muatan. Namun, pelayanan tambahan dalam jumlah yang besar harus juga diadakan bagi pesawat udara dan untuk langganannya (kantor eksekutif, pekerjaan juru tulis dan operasi teknis, loket karcis, toko, loket makan siang dan rumah makan, daerah perawatan, bagasi dan pengaturan muatan/cargo). Karena kegiatan kebanyakan pekerjaan ini membutuhkan pembicaraan langsung atau pembicaraan telepon, kriteria akustik untuk pengendalian bising di daerah-daerah ini harus ditetapkan dengan tujuan untuk menjamin kerahasiaan pembicaraan yang cukup.

Dengan lalu-lintas udara komersial supersonik, pada dasarnya dihadapan kita lingkungan bising bandar udara menjadi jauh lebih kritis, dan secara serius mempengaruhi penumpang dan karyawan dan juga tempat tinggal lingkungan sekitarnya.

Bising pesawat udara, pengendaliannya, dan pengaruhnya terhadap perencanaan kota telah dibahas dalam Bagian 13.3.3 dan 13.6.2.

17.12 Bangunan Industri

Tingkat bising sumber-sumber bising industri yang tinggi jelas menunjukkan kebutuhan untuk pengendalian bising yang efektif dalam industri-industri tertentu. Dalam pengendalian bising bangunan industri, persyaratannya adalah sebagai berikut:

1. Mengadakan lingkungan akustik yang dapat diterima oleh masing-masing pekerja (operator mesin) yang menghasilkan bising tersebut.
2. Menyediakan komunikasi pembicaraan di antara operator-operator pada tingkat yang dibutuhkan.
3. Melindungi pekerja-pekerja lain atau karyawan kantor, baik yang dekat dengan sumber bising atau pada beberapa lokasi lain dalam bangunan yang sama.
4. Mencegah transmisi bising ke dalam bangunan yang berdampingan atau ke masyarakat sekitarnya.

Pekerja dapat dilindungi dengan menekan bising di sumbernya dengan menggunakan dinding pereduksi bising (penutupan/screening) sekeliling mesin yang membuat bising atau dengan memasukkan bahan penyerap bunyi ke dalam ruang yang bising. Jika setelah semua tindakan ini dilaksanakan tingkat bising tetap di atas tingkat yang dapat ditolerir, pekerja-pekerja harus melindungi pendengaran mereka dengan menggunakan earmuff atau earplug. Bersamaan dengan penggunaan dinding pereduksi sekeliling mesin-mesin yang bising, maka harus dicatat bahwa operator dari mesin yang bersalah jarang kritis terhadap bising yang dihasilkan oleh mesin yang sedang ditangani/dikendalikannya; lebih lanjut, ia sering tergantung pada bising yang dihasilkannya untuk memeriksa efisiensi dan penampilan mesin tersebut.

Reduksi bising yang banyak dapat dicapai dalam bangunan industri yang bising dengan pengaturan arsitektur yang baik, dengan pemisahan daerah bising dari daerah-daerah yang membutuhkan ketenangan, dan dengan pengorganisasian lebih lanjut (Bab 13).

Penghalang, seperti tembok tinggi atau suatu bangunan antara sumber bising dan daerah yang membutuhkan perlindungan dapat berguna. Penghalang harus sedekat mungkin dengan sumber bising (Gambar 13.10).

Pengadaan inteligibilitas pembicaraan yang cukup, perlindungan terhadap karyawan yang bekerja dalam bangunan yang bising, dan pembatasan bising yang mengganggu dalam daerah yang sah dapat dipenuhi dengan menggunakan dinding penginsulasi bunyi yang cocok, yang dibahas dalam Bab 14. Adalah penting untuk memperhatikan distribusi frekuensi dari bising yang mengganggu supaya dinding-dinding yang sesuai dapat dipilih dengan insulasi bunyi yang efektif pada frekuensi-frekuensi kritis ini.

17.13 Ruang Audiometrik dan Laboratorium Bunyi

Digunakan untuk audiometri dan untuk pengukuran serta penelitian akustik, ruang-ruang ini merupakan aplikasi praktis dari konstruksi yang tidak kontinu. Mereka telah dibahas secara singkat dan digambarkan dalam Bagian 14.4.5. Perancangan dan konstruksinya merupakan masalah-masalah khusus dari akustik arsitektur.

KEPUSTAKAAN

Buku

Beranek, L.L. (ed.): *Noise Reduction*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1960, bab 23 sampai 25.

Hayes, A.S.: *Language Laboratory Facilities*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1963, 119 halaman.

Chapman, D.: *Design for Educational Television: Planning for Schools with Television*, Educational Facilities Laboratories, New York, Mei 1963, 96 halaman.

Hines, W.A.: *Noise Control in Industry*, Business Publications Ltd., London, 1966, 197 halaman.

Majalah

Content, E.J.: "Sound Control in Libraries", *Architectural Record*, Nopember 1946, halaman 121.

"School Acoustics", *Architectural Forum*, Oktober 1953, halaman 188, 224.

Parkin, P.H., and E.F. Stacy: "Recent Research on Sound Insulation in Houses and Flats", *J. RIBA*, Juli 1954, halaman 372–376.

Purcell, J.B.C.: "Acoustics in Dwellings", *Architectural Record*, September 1955, halaman 229–232.

Hardy, H.C.: "A Guide to Office Acoustics", *Architectural Record*, Pebruari 1957, halaman 235–240.

Snow, W.B.: "Noise Control in Recording, Television, and Motion-picture Studios", *Noise Control*, Mei 1957, halaman 19–22.

Lane, R.N.: "Noise Control in Schools", *Noise Control*, Juli 1957, halaman 27–34.

Goodfriend, L.S.: "Noise Control in Civic Buildings", *Noise Control*, Juli 1957, halaman 38–42, 60.

Lane, R.N.: "Planning for Noise Control in Church Buildings", *Noise Control*, Januari 1958, halaman 50–51, 56.

Cavanaugh, W.J., and N. Doelling: "Noise Control Techniques for Motels", *Architectural Record*, April 1958, halaman 231–234.

Mikeska, E.E.: "Noise in the Modern Home", *Noise Control*, Mei 1958, halaman 38–41, 52.

Williams, L.J.: "Some Industrial Noise Problems and Their Solution", *Noise Control*, Januari 1959, halaman 36–38, 72–73.

Stacy, E.F.: "The Control of Noise in Factory Buildings", *Insulation*, Juli–Agustus 1959, halaman 223–226.

Doelle, L.L.: "Sound Insulation in Dwellings", *Canadian Architect*, Nopember 1959, halaman 61–63.

King, J.: "The Sound of Change in the American Schoolhouse", *Architectural Record*, Juli 1962, halaman 147–149.

Newman, R.B.: "Some Common Sense for School Acoustics", *Architectural Record*, Juli 1962, halaman 154–155.

Hardy, H.C.: "Introduction to School Acoustics", *Sound*, Januari–Pebruari 1963, halaman 9–11.

Fitzroy, D.: "Classrooms in Use", *Sound*, Januari–Pebruari 1963, halaman 16–18.

Farrell, W.R.: "Sound Isolation between Teaching Spaces", *Architectural Record*, Oktober 1963, halaman 229–232.

Northwood, T.D.: "Sound Insulation and the Apartement Dweller", *J. Acoust. Soc. Am.*, April 1964, halaman 725–728.

McGuinness, W.J.: "Residential Noise Control", *Progressive Architecture*, Juli 1964, halaman 18.

Ford, R.D., P. Lord, and A.W. Walker: "Offices with High Sound Insulation", *Applied Acoustics*, Januari 1968, halaman 21–28.

Scholes, W.E., and P.H. Parkin: "The Insulation of Houses against Noise from Aircraft in Flight", *Applied Acoustics*, Januari 1968, halaman 37–46.

Pohl, J.G.: "Artificial Sound Blankets in Modern School Planning", *Architectural Science Review*, Juni 1968, halaman 61–66.

Anstey, B.: "Noise at Airports", *The Architect and Building News*, 1 dan 15 Januari 1969, halaman 46–49; 29 Januari 1969, halaman 36–37, 13 Pebruari 1969, halaman 52–53.

Waller, R.A.: "Office Acoustics: Effect of Background Noise", *Applied Acoustics*, April 1969, halaman 121–130.

Powell, J.A., and D.M. Harman: "A Design Guide: Information Required for the Acoustic Design of Offices", *Applied Acoustics*, April 1969, halaman 137–145.

Pile, J.: "Burolandschaft ('Office Landscaping')", *The Canadian Architect*, Juni 1969, halaman 39–60.

Hirtle, P.W., and R. Pirn: "Acoustics without Walls", *Architectural and Engineering News*, Pebruari 1970, halaman 38–39.

Lord, P.: "The Results of Application of Simple Acoustic Principles to Low Cost Housing with a View to Reducing Loss of Comfort Due to Noise", *Applied Acoustics*, April 1970, halaman 145–160.

Intisari dan Laporan

Fitzroy, D., and J.L. Reid: *Acoustical Environment of School Buildings*, Educational Facilities Laboratories, New York, 1963, 128 halaman.

Goodfriend, L.S., and R.L. Cardinell: *Noise in Hospitals*, U.S. Department of Health, Education, and Welfare Publications 930-D-11, Washington, D.C., 1963, 130 halaman.

Northwood, T.D.: *Sound Insulation in Office Buildings*, National Research Council, Ottawa, Canadian Building Digest 51, Maret 1964, 4 halaman.

Divisible Auditoriums, Educational Facilities Laboratories, New York, Mei 1966, 48 halaman.

Northwood, T.D., H.B. Dickens, and A.T. Hansen: Noise Control in Residential Buildings. National Research Council, Ottawa, Technical Paper 230, Pebuari 1967, 46 halaman.

BAGIAN EMPAT

Pelaksanaan

BAB DELAPANBELAS

Perincian, Spesifikasi dan Pengawasan

Perhatian yang diberikan pada persyaratan akustik suatu bangunan ketika bangunan tersebut masih dalam tahap rancangan awal harus diteruskan selama proses perincian dan spesifikasi. Bila pekerjaan sedang dibangun, beberapa perincian akustik akan membutuhkan pengawasan tetap di lapangan sampai bangunan selesai.

Suatu pendekatan yang bijaksana pada perancangan arsitektur dan konstruksi proyek tersebut dengan pemikiran pengendalian akustik akan menambah biaya konstruksi dalam jumlah yang tak seberapa. Namun, koreksi akustik setelah proyek diselesaikan, yaitu setelah bangunan digunakan, selalu sangat mahal dan biasanya dihadapkan dengan berbagai kesulitan.

Perincian gambar arsitektur dan spesifikasi harus menunjukkan elemen rancangan yang mempunyai arti/kegunaan akustik, dan memberikan karakteristik dan kriteria akustik. Sifat-sifat akustik dari elemen rancangan berikut ini harus dimasukkan dalam perincian gambar detail atau spesifikasi:

1. Koefisien penyerapan bunyi bahan-bahan akustik pada frekuensi standar, atau paling sedikit pada frekuensi tengah.
2. Berat (rapat spesifik) selimut isolasi dalam konstruksi penyerapan bunyi dan insulasi bunyi.
3. Nilai STC konstruksi dinding, lantai, pintu, atau jendela di daerah yang peka secara akustik.
4. Nilai INR atau IIC konstruksi lantai dalam daerah yang peka terhadap bising.
5. Nilai atenuasi bising langit-langit akustik gantung di mana dinding pemisah yang memisahkan daerah kritis secara akustik dibangun hanya sampai langit-langit gantung saja.
6. Tingkat bising latar belakang (tingkat NC) maksimum yang diperbolehkan dalam ruang-ruang yang penting secara akustik bila tak ditempati tetapi dengan sistem ventilasi atau pengkondisi udara beroperasi penuh.

Karakteristik akustik bahan-bahan atau konstruksi bangunan (nilai α, TL, STC, IIC, dan lain-lain) yang digunakan dalam gambar-gambar atau spesifikasi harus didasarkan pada hasil percobaan yang diterbitkan atau dikeluarkan oleh laboratorium akustik yang diakui.

Bila terdapat keraguan tentang sifat akustik atau efisiensi elemen yang direncanakan atau bangunan rancangan, maka adalah penting untuk kembali ke metoda tes yang dianggap dapat diterima dalam mengidentifikasi sifat akustik yang kritis dari bahan atau konstruksi yang sedang dipermasalahkan. Sebagai contoh:

1. Bila suatu penutup tertentu (dinding, lantai, pintu atau jendela) harus mempunyai suatu nilai STC tertentu, maka adalah perlu untuk menyatakan bahwa nilai ini harus dicapai ketika penutup yang sedang diperhatikan dites sesuai dengan standar ASTM E90-66T, "Laboratory Measurement of Air-borne Sound Transmission Loss of Building Partitions".

2. Bila nilai STC suatu penyungkup (enclosure) harus dites di lapangan, maka perlu ditunjukkan bahwa tes tersebut harus dilakukan sesuai dengan standar ASTM E336-67T, "Measurement of Air-borne Sound Insulation in Buildings".

3. Bila suatu partisi yang dapat dipindah yang secara akustik adalah kritis, bukan hasil komersial yang dites oleh pabrik yang ternama, ia harus dinilai sesuai dengan rekomendasi National School Supply and Equipment Association, "Testing Procedures for Measuring Sound Transmission Loss Through Operable Walls".

4. Bila terdapat suatu keraguan tentang atenuasi bising konstruksi langit-langit gantung, maka harus dispesifikasikan bahwa sifat tertentu ini dites sesuai dengan metoda tes AMA-1-II-1976, yang direkomendasi oleh the Acoustical and Insulating Materials Association, "Ceiling Sound Transmission Test by the Two-room Method".

5. Bila nilai STC suatu tembok atau lantai yang telah ada jelas direduksi oleh transmisi samping (flanking), sebagai contoh, oleh transmisi bising lewat saluran mekanik pembicaraan bersama (cross talk), perbatasan kritis harus dites di lapangan dengan metoda tes yang telah disetujui.

6. Bila bising yang dihasilkan komponen-komponen peralatan mekanik nampak melebihi nilai yang dibolehkan atau reduksi bising mekanik tampak kurang cukup, tes yang perlu harus dilakukan sesuai dengan berbagai metoda tes yang direkomendasi oleh the American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.

Perincian yang kritis secara akustik dari suatu proyek harus diawasi secara sistematik dan hati-hati untuk menjamin bahwa gambar detail dan spesifikasi telah diinterpretasi dengan baik oleh kontraktor. Perincian kritis semacam itu adalah sebagai berikut:

1. Mendempul sekeliling tepi partisi tembok kering.
2. Sambungan adukan semen horisontal dan vertikal dalam tembok batu (masonry) penginsulasi bunyi.
3. Kehadiran ruang udara yang tak terputus dalam partisi ganda, bebas dari elemen yang menghubungkan pendek (short circuit), gumpalan-gumpalan adukan semen, kabel yang menembus pipa-pipa dan lain-lain.
4. Baffle bising di atas tembok pemisah yang dibangun naik sampai sisi bawah langit-langit gantung saja.
5. Membungkus dan mendempul sekeliling lubang atau celah dalam dinding penginsulasi bunyi.
6. Pemisahan lantai apung dari struktur lantai yang menunjang dan dari dinding yang mengelilinginya.
7. Rapat spesifik (berat) selimut isolasi yang digunakan dalam konstruksi penyerap bunyi dan penginsulasi bunyi.

Tidak jarang, selama konstruksi suatu proyek, kontraktor tidak dapat menyediakan bahan tertentu yang telah disebutkan dan penting untuk detail akustik tepat pada waktunya. Dalam kasus-kasus seperti itu sasaran pengawasan adalah memberi saran tentang kebaikan bahan pengganti yang beralasan dan dapat diterima. Dalam rancangan akustik terdapat sejumlah kebebasan untuk keluwesan; penampilan yang sama sering dapat dicapai lewat berbagai jalan, dengan penggunaan bahan-bahan yang berbeda.

Dalam bangunan yang sudah diselesaikan, karakteristik pengendalian bising yang penting, seperti tingkat NC, nilai STC dan IIC dan lain-lain, harus diperiksa dalam keadaan kritis dengan melakukan pengukuran akustik.

KEPUSTAKAAN

Majalah

Kodaras, M.J.: "Specifications, Performance, Testing", *Applied Acoustics*, April 1968, halaman 143–150.
Waller, R.A.: "Economics of Sound Reduction in Buildings", *Applied Acoustics*, Juli 1968, halaman 205–213.

BAB SEMBILANBELAS

Memeriksa Penampilan Akustik suatu Auditorium

Selama perancangan dan konstruksi suatu auditorium, baik yang besar maupun kecil, arsitek jelas ingin sekali membuat penilaian awal sedini mungkin, tentang dugaan kualitas akustik ruang. Ada beberapa metoda yang dapat digunakan untuk tujuan ini. Bila metoda-metoda ini digunakan dengan teliti pada saat awal, maka penampilan akustik dapat dinilai dengan derajat ketelitian teknis yang cukup baik.

19.1 Selama Perancangan

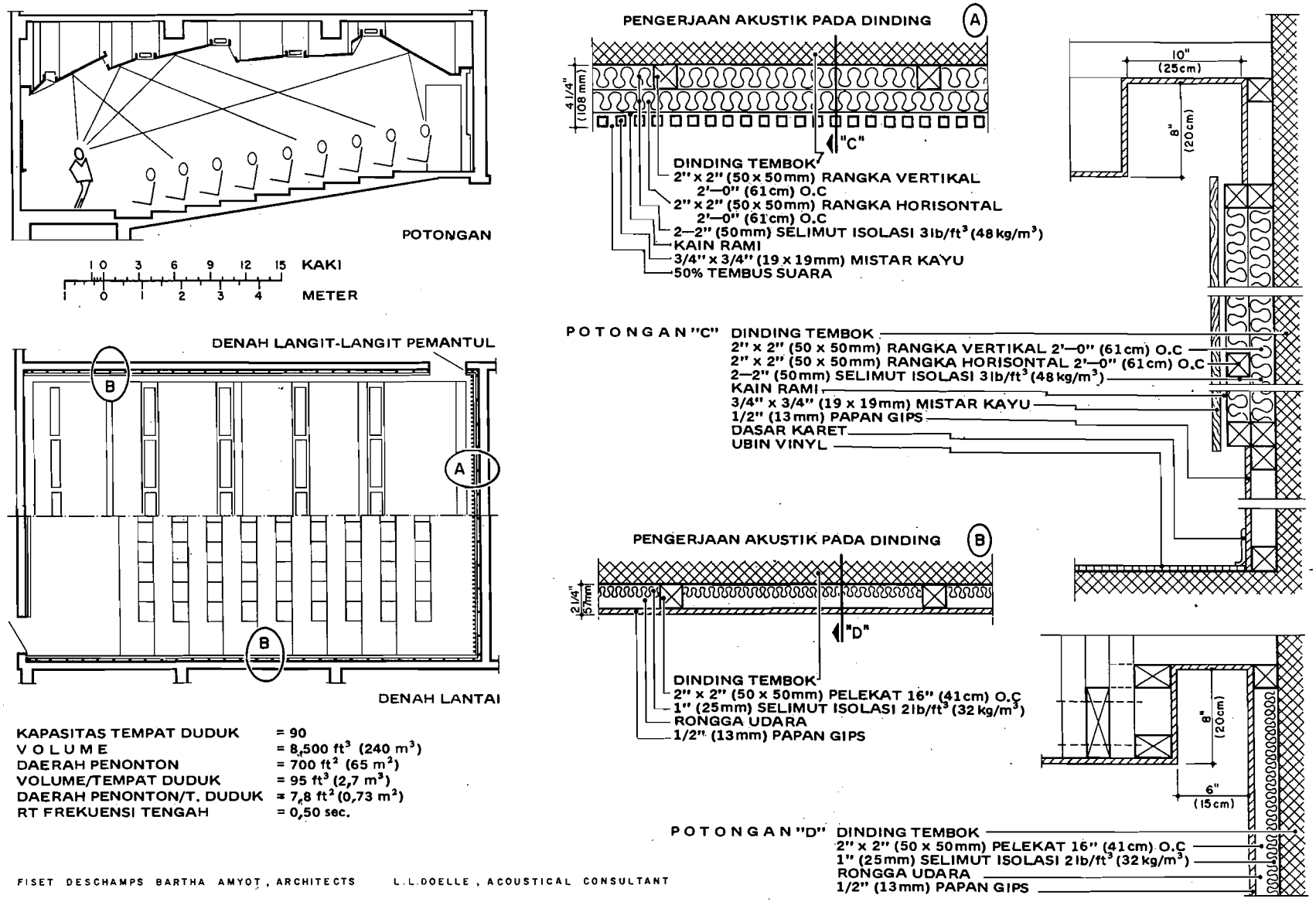
Denah dan irisan melintang tingkat (floor) pertama suatu auditorium menyediakan kesempatan yang bagus untuk menetapkan jejak sinar bunyi yang merambat dari sumber ke pendengar. Telah dibahas dalam Bagian 4.1 bagaimana sinar-sinar bunyi ini dipantulkan dari permukaan batas dengan sudut yang sama dengan sudut datang (hukum pemantulan). *Analisis grafis* perambatan bunyi yang sederhana ini dalam ruang akan berguna:

1. Untuk memeriksa apakah penyediaan bunyi langsung dari sumber ke semua bagian daerah penonton memuaskan, yaitu apakah daerah penonton cukup dimiringkan dan sumber bunyi dinaikkan dengan cukup (Bagian 6.2).
2. Untuk menjamin bahwa bunyi pantul dengan waktu tunda singkat telah disediakan dalam jumlah cukup untuk seluruh daerah penonton, terutama untuk tempat duduk-tempat duduk yang jauh (Bagian 6.2).
3. Untuk menemukan permukaan yang menyebabkan terjadinya cacat akustik, seperti gema, gema sudut (corner echoes), gaung, pemantulan dengan waktu tunda yang lama, pemusatan bunyi, atau bayang-bayang akustik (Bagian 6.5).

Menganalisis jejak gelombang bunyi setelah pemantulan pertama dan kedua adalah tidak penting karena berkurangnya energi setelah beberapa pemantulan.

Metoda sederhana lain untuk memeriksa kualitas akustik suatu auditorium selama tahap perancangan adalah *menghitung waktu dengung.* Ruang kuliah kecil yang ditunjukkan dalam Gambar 19.1 telah digunakan untuk menggambarkan contoh perhitungan RT pada 500 Hz, seperti diberikan dalam Tabel 19.1. Tempat duduk dalam ruang kuliah ini terdiri dari kursi teater yang diberi bahan empuk yang banyak; kapasitas penonton telah dimisalkan untuk perhitungan ini. Waktu dengung untuk perhitungan yang disederhanakan diberikan oleh rumus berikut ini (Bagian 4.5):

$$\mathrm{RT} = \begin{cases} \dfrac{0{,}05V}{A + xV} & \text{sistem Inggris} \\[2ex] \dfrac{0{,}16V}{A + xV} & \text{sistem metrik} \end{cases}$$

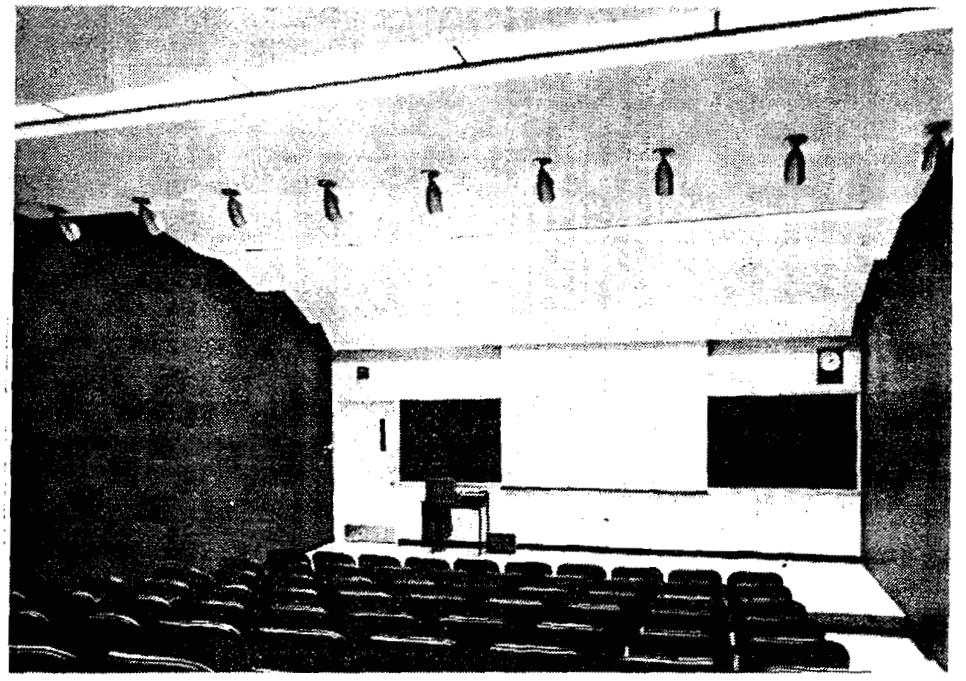


KAPASITAS TEMPAT DUDUK	= 90
VOLUME	= 8,500 ft³ (240 m³)
DAERAH PENONTON	= 700 ft² (65 m²)
VOLUME/TEMPAT DUDUK	= 95 ft³ (2,7 m³)
DAERAH PENONTON/T. DUDUK	= 7,8 ft² (0,73 m²)
RT FREKUENSI TENGAH	= 0,50 sec.

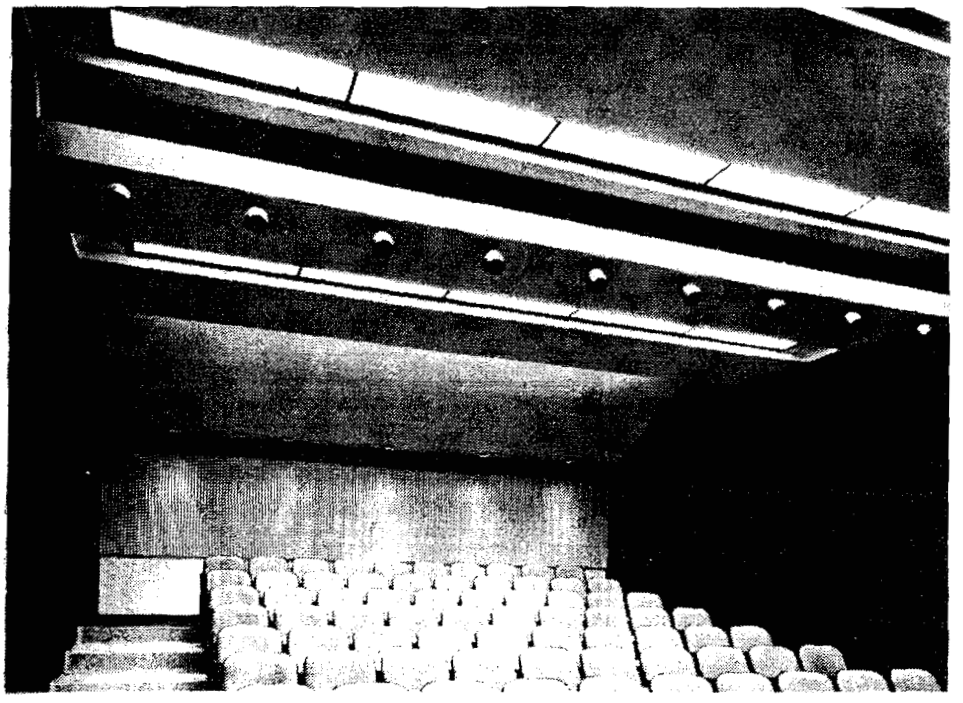
Gambar 19.1 Denah ruang kuliah, Marymount College, Quebec (1967), yang digunakan dalam contoh perhitungan RT.

Gambar 19.2 dan 19.3 menunjukkan interior ruang kuliah yang diperinci dalam Gambar 19.1 dan digunakan dalam contoh perhitungan RT.

Metoda ketiga dalam memeriksa kualitas akustik ruang suatu auditorium adalah dengan *tes model,* yang biasanya menggunakan berbagai pilihan metoda *optik* atau *gelombang.* Dalam kasus pertama, kondisi akustik geometrik dimisalkan dengan menggunakan panjang gelombang yang sangat kecil dibanding dimensi model. Dalam kasus kedua, perhitungan didasarkan pada panjang gelombang yang direduksi dengan perbandingan yang sama seperti dimensi model.



Gambar 19.2 Pandangan depan ruang kuliah dengan 90 tempat duduk yang digambarkan dalam Gambar 19.1, yang digunakan dalam contoh perhitungan RT. (Foto oleh Legare & Kedl.)



Gambar 19.3 Pandangan belakang ruang kuliah yang digambarkan dalam Gambar 19.1, dengan lapisan akustik rucuk-kayu sepanjang tembok yang berhadapan dengan podium. (Foto oleh Legare & Kedl.)

19.2 Selama Konstruksi dan Setelah Penyelesaian

Sebelum dinyatakan selesai dan siap untuk digunakan, tiap auditorium harus menjalani tes tertentu untuk meyakinkan bahwa auditorium tersebut tak mempunyai cacat akustik yang dapat merusak kegunaannya. Tes ini memungkinkan arsitek segera mengambil langkah-langkah bagi koreksi akustik auditorium tersebut bila ternyata diperlukan.

Dalam kasus-kasus yang sederhana ruang dapat diperiksa untuk gema atau gaung dengan melakukan tepukan yang tajam pada tempat/lokasi sumber bunyi dan kemudian mendengarkan responsnya. Seseorang dengan telinga yang peka akan dapat mendeteksi karakteristik dengung ruang tersebut hanya dengan mendengarkan suatu pertunjukkan dalam ruang.

TABEL 19.1 Contoh Perhitungan RT Ruang Kuliah (Lihat Gambar 19.1)

Permukaan	Luas ft^2	Luas m	α	ft^2	m
Lantai:					
Daerah yang ditempati, tempat duduk sandaran empuk	700	65	0,80	560	52
Daerah yang tak ditempati, vinyl di atas kayu	192	17	0,05	10	1
Tembok:					
Belakang, rusuk kayu, detail A	120	11	0,50	60	5
Belakang, gypsum dengan rongga udara, potongan B	72	7	0,10	7	0
Sisi, gypsum, detail B	900	83	0,10	90	8
Depan, gypsum pada batu-batuan	240	22	0,02	5	0
Langit-langit:					
Papan gypsum gantung	1.030	95	0,12	123	11
Penyerapan total				855	78

$$RT_{500} = \frac{0{,}05 \times 8.500}{855} = 0{,}50 \text{ sekon} \quad \text{sistem Inggris}$$

$$\frac{0{,}10 \times 240}{78} = 0{,}50 \text{ sekon} \quad \text{sistem metriks}$$

Namun dalam auditorium ukuran sedang dan besar, terutama bila penekanan diberikan pada akustik yang bagus, penilaian kuantitatif dan kualitatif yang lebih tepat tentang sifat akustik diperlukan. Penilaian ini dapat terdiri dari (1) pemeriksaan kejelasan pembicaraan (speech ineligibility), (2) pemeriksaan pertunjukan, (3) pengukuran obyektif sifat-sifat akustik ruang.

Inteligibilitas dalam ruang yang digunakan untuk pidato dapat ditentukan oleh *tes artikulasi* atau *tes inteligibilitas*. Pembicaraan di mimbar atau panggung membacakan sejumlah kata, ungkapan, atau kalimat atau sejumlah suku kata tunggal yang tak mempunyai arti, dan pendengar di berbagai bagian daerah penonton menuliskan atau mengulang apa yang mereka duga mereka dengar. Prosentase kata-kata yang direkam dengan benar disebut persen artikulasi atau persen inteligibilitas. Istilah *artikulasi* digunakan bila bahan yang diucapkan terdiri dari suku kata yang tak mempunyai arti atau fragmen; kata *inteligibilitas* digunakan bila bahan yang diucapkan terdiri dari kata-kata, ungkapan atau kalimat yang lengkap.

Sebelum suatu auditorium dengan kepentingan akustik tertentu digunakan dengan teratur, maka *tes performansi* yang direncanakan dengan hati-hati harus diadakan untuk memeriksa ruang secara subyektif untuk kesalahan akustik yang besar, seperti gema, gaung, RT yang tidak betul, kekurangan bunyi frekuensi rendah yang tak lazim, resonansi ruang dan lain-lain. Tiap cacat yang dapat ditemukan dapat diperiksa lebih lanjut dan mungkin diperbaiki sebelum pembukaan auditorium secara resmi, dan ketika kontraktor bangunan masih di lapangan.

Selama konstruksi dan setelah penyelesaian suatu auditorium beberapa karakteristik akustik, seperti RT, difusi, keseimbangan frekuensi tinggi, tengah dan rendah, tingkat tekanan bunyi, dan tingkat bising, dapat *diukur secara obyektif* atau dideteksi dengan instrumen, jadi menentukan penilaian kuantitatif yang tepat bagi penampilan akustik ruang tersebut.

Pengukuran waktu dengung selama konstruksi suatu studio radio atau studio televisi dapat menyarankan penyesuaian atau modifikasi tertentu dalam rencana pengaturan akustik ruang tersebut. Pengukuran akustik dalam studio radio yang telah selesai akan mengungkapkan apakah dibutuhkan suatu perubahan dalam penggunaan lapisan akustik.

KEPUSTAKAAN

Buku

Newman, R.B., and W.J. Cavanaugh: "Acoustics", in J. H. Callender (ed.), *Timer-saver Standards*, 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1966, halaman 623–625.

Majalah

Nordlund, B., T. Kihlman, and S. Lindblad: "Use of Articulation Test in Auditorium Studies", *J. Acoust. Soc. Am.*, Juli 1968, halaman 148–156.

"Scale Model Acoustic Studies", *The Architect and Building News*, 10 April 1969, halaman 77–78.

Day, B., and R.J. White: "A Study of Acoustic Field in Landscaped Offices with the Aid of a Tenth-scale Model", *Applied Acoustics*, Juli 1969, halaman 161–183.

Knudsen, V.O.: "Model Testing of Auditoriums", *J. Acoust. Soc. Am.*, Pebuari 1970, halaman 401–407.

Jordan, V.L.: "Acoustical Criteria for Auditoriums and Their Relation to Model Techniques", *J. Acoust. Soc. Am.*, Pebuari 1970, halaman 408–412.

Watters, B.G.: "Instrumentation for Acoustic Modeling", *J. Acoust. Soc. Am.*, Pebuari 1970, halaman 413–418.

Veneklasen, P.S.: "Model Techniques in Architectural Acoustics", *J. Acoust. Soc. Am.*, Pebuari 1970, halaman 419–423.

Apendiks

APENDIKS A

Koefisien Penyerapan Bunyi

Tabel A.1 memuat *koefisien penyerapan bunyi* bahan-bahan bangunan yang biasa, bahan akustik dan isi ruang (penonton, tempat duduk dan lain-lain). Ia berguna untuk melakukan perhitungan RT.

Koefisien penyerapan diberikan untuk 6 frekuensi wakil, yaitu untuk 125, 250, 500, 1000, 2000 dan 4000 Hz, yaitu frekuensi-frekuensi yang paling penting dalam praktek perancangan akustik pada umumnya. Nilai koefisien penyerapan di bawah dan di atas daerah frekuensi ini hanya dipakai oleh ahli-ahli akustik saja.

Koefisien penyerapan bunyi bahan-bahan akustik standar, yang biasanya dicantumkan dalam pamflet pabrik, sebagai aturan tidak dimasukkan dalam Tabel A.1. Ikut tercantumnya beberapa bahan akustik komersial tidak perlu berarti bahwa mereka dipaksakan dengan suatu cara; mereka hanya menyatakan contoh tertentu dari jenis yang bersangkutan.

TABEL A.1 Koefisien Penyerapan Bunyi Bahan-bahan Bangunan, Bahan Akustik dan Isi Ruang.

Bahan	Frekuensi, Hz						Sumber*
	125	250	500	1000	2000	4000	
Acoustical plaster, rata-rata	0,07	0,17	0,50	0,60	0,68	0,66	8
Acoustic steel deck, 6-in (150-mm) ribs	0,58	0,64	0,71	0,63	0,47	0,40	7
Acoustone space tile, 32 in (81 cm) OC, per unit	0,22	0,81	1,88	2,28	2,16	1,83	7
Udara, per volume 1,000 ft kubik, kelembaban relatif 50%				0,9	2,9	7,4	6
per volume 100 m kubik, kelembaban relatif 50%				0,3	0,9	2,4	6
Penonton, dalam tempat duduk empuk, per luas lantai	0,39	0,57	0,90	0,94	0,92	0,87	2
Tempat duduk empuk, kosong, per luas lantai	0,19	0,37	0,56	0,67	0,61	0,59	2
Tempat duduk bertutup kulit, kosong, per luas lantai	0,15	0,25	0,36	0,40	0,37	0,35	8
Bangku kayu, kosong, per luas lantai	0,37	0,44	0,67	0,70	0,80	0,72	8
Pemusik, dengan tempat duduk dan alat musik, per orang	4,0	8,5	11,5	14,0	13,0	12,0	3
Bata, telanjang, tidak dihaluskan, tidak dicat	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	1
Karpet, berat pada beton	0,02	0,06.	0,14	0,37	0,60	0,65	1
Berat, pada 40 oz (1,35 kg per m^2) bulu atau karet busa	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73	1
Balok beton, tidak dicat	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25	1
Dicat	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08	1
Beton, yang dituang, tanpa dicat	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	2
Kain, velour medium, 14 oz (0.48 kg per m^2), digantung sampai setengah luas	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60	1
Lantai, beton atau teraso	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	0,02	1
Linoleum, vinyl, karet, atau lantai gabus pada beton	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	1
Pada sub lantai	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,05	3
Kayu	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	1
Panggung kayu, dengan ruang udara di bawahnya	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10	2
Tegel geocoustic, 32 in (81 cm) OC, per unit	0,13	0,74	2,35	2,53	2,03	1,73	4
Gelas, pelat berat	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	1
Jendela biasa	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	1
Gypsum board ½ in (13 mm), pada tiang 2 x 4 in (50 x 100 mm), 16 in (41 cm) OC	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09	1
Plaster, gypsum atau lime, permukaan halus, pada bata	0,013	0,015	0,02	0,03	0,04	0,05	1
Pada balok beton	0,12	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	2
Pada papan	0,14	0,10	0,06	0,04	0,04	0,03	1
Pada papan, di atas ruang udara, atau pada tiang							
Pada papan, di atas ruang udara, atau pada tiang	0,30	0,15	0,10	0,05	0,04	0,05	3
Plywood, ¼ in (6 mm) di atas 3 in (75 mm) ruang udara, 1 in (25 mm) latar belakang fiber glass	0,60	0,30	0,10	0,09	0,09	0,09	5
Sound box unit, tipe B, 8 in (20 cm), dicat	0,74	0,57	0,45	0,35	0,36	0,34	4
Panel kayu, $^3/_8$ sampai ½ in (10 sampai 13 mm) di atas ruang udara 2 sampai 4 in (50 sampai 100 mm) ruang udara	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10	2

* 1. Acoustical and Insulating Materials Association; 2. L.L. Beranek; 3. P.H. Parkin and H.R. Humphreys; 4. P.G. Geiger and R.N. Hamme; 5. National Research Council of Canada; 6. C.M. Harris; 7. Pernyataan pabrik; 8. Perkiraan.

Nilai Insulasi Bunyi Tembok-tembok

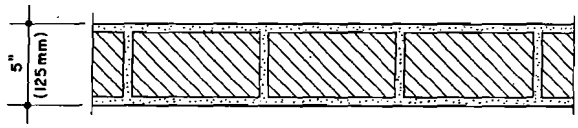
Gambar B.1 sampai B.9 menunjukkan sejumlah *konstruksi tembok* tertentu dengan data akustik arsitektur yang bersangkutan. Nilai STC yang ditunjukkan pada tiap konstruksi tembok menyatakan nilai rata-rata, agak kuno, dan diturunkan dari hasil-hasil tes yang dilaporkan oleh para ahli terkemuka yang bergerak di bidang penelitian dan testing akustik. Nilai-nilai ini dapat dianggap sebagai petunjuk dalam praktek perancangan arsitektur. Kebanyakan informasi yang ditunjukkan dalam Gambar B.1 sampai B.9 diterbitkan dalam *A Guide to Air-borne, Impact, and Structure-borne Noise Control in Multi-family Dwellings,* National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1967, dan oleh the National Research Council of Canada, Ottawa, dalam catatan Penelitian Bangunan yang berjudul *Transmission Loss of Plasterboard Walls,* 1968. Harus ditekankan bahwa dalam praktek nilai STC agak lebih kecil sedikit dibanding nilai-nilai yang ditunjukkan dalam gambar, karena pekerjaan bangunan yang kurang baik atau jejak transmisi samping (flanking) yang tak terduga dan tak dapat dilihat.

Gambaran ini juga menunjukkan bagaimana penampilan akustik tembok secara keseluruhan dipengaruhi oleh bermacam-macam komponen dan karakteristik fisik mereka, seperti jumlah dan tebal lapisan, tebal ruang udara antara lapisan-lapisan, penggunaan selimut isolasi atau pelengkap elastik, jarak antara serta ketegaran tiang-tiang, dan lain-lain.

Konstruksi tembok yang ditunjukkan dalam Gambar B.1 sampai B.9 dapat dikelompokkan dengan cara berikut:

1. Tembok bata (Gambar B.1)
2. Tembok ringan
   - 2.1 Rakitan lembaran/lapisan-tunggal (Gambar B.2)
   - 2.2 Rakitan lapisan ganda:
     - Partisi tiang-kayu dengan jarak pisah 16-in (41 cm) (Gambar B.3)
     - Partisi tiang-kayu dengan jarak pisah 24-in (61 cm) (Gambar B.4)
     - Partisi tiang-kayu yang berselang-seling (staggered) (Gambar B.5)
     - Partisi tiang-logam dengan jarak pisah 16-in (41 cm) (Gambar B.6)
     - Partisi tiang-logam dengan jarak pisah 24-in (61 cm) (Gambar B.7)
     - Partisi tiang-logam yang berselang-seling (Gambar B.8)
     - Partisi tanpa tiang (Gambar B.9)

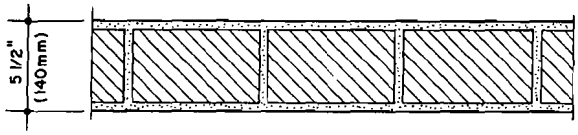
1. 4" (100mm) BATA



1/2" (13mm) PLESTER
4" (100mm) BATA
1/2" (13mm) PLESTER

W = 43 (210)
STC = 40+

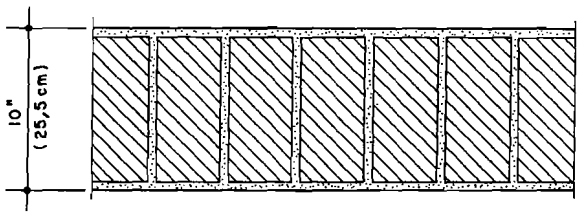
2. 4 1/2" (114mm) BATA



1/2" (13mm) PLESTER
4 1/2" (114mm) BATA
1/2" (13mm) PLESTER

W = 55 (270)
STC = 42

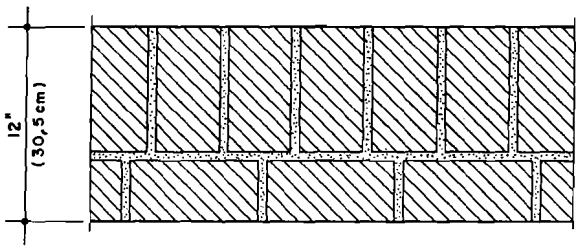
3. 9" (23cm) BATA



1/2" (13mm) PLESTER
9" (23 cm) BATA
1/2" (13 mm) PLESTER

W = 100 (490)
STC = 52

4. 12" (30.5 cm) BATA

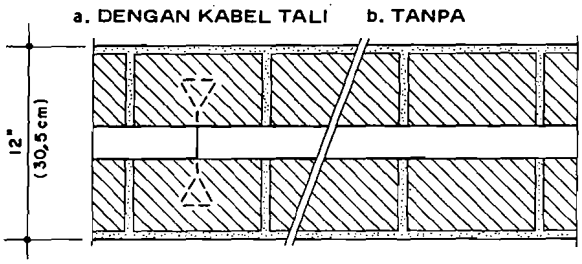


8" (20cm) BATA
4" (100mm) BATA

W = 121 (590)
STC = 54+

5. BATA BERLUBANG

a. DENGAN KABEL TALI b. TANPA



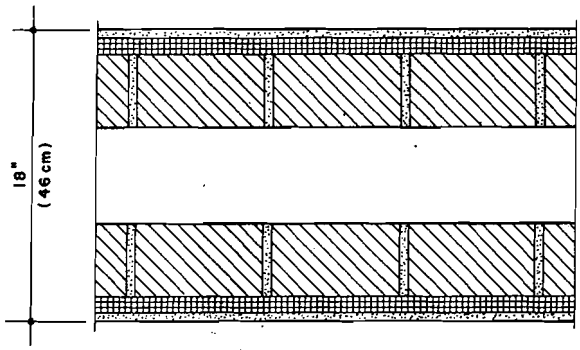
1/2" (13mm) PLESTER
4 1/2" (114mm) BATA
2" (50mm) LUBANG
4 1/2" (114mm) BATA
1/2" (13mm) PLESTER

W_a = 100 (490)
STC_a = 49

W_b = 100 (490)
STC_b = 54

Gambar B.1 Nilai insulasi-bunyi tembok bangunan batu: W, berat dalam pound er foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

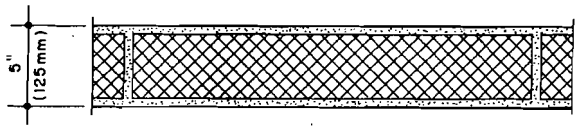
6.



W = 120 (585)

STC = 62

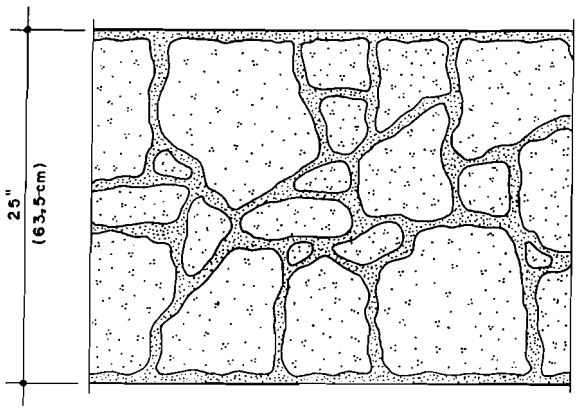
7. 4" (100mm) BALOK GIPS BERLUBANG



W = 23,5 (115)

STC = 40+

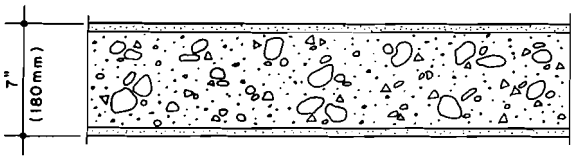
8. 24" (61cm) BATU



W = 280 (1,370)

STC = 56

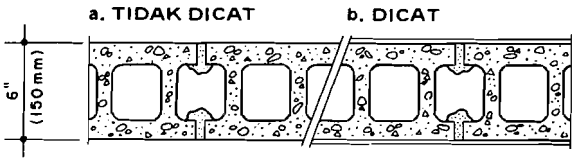
9. 6" (150mm) BETON



W = 80 (390)

STC = 52+

10. 6" (150mm) BALOK BETON PADAT BERLUBANG



W_a = 30 ke 40 (145 ke 195)

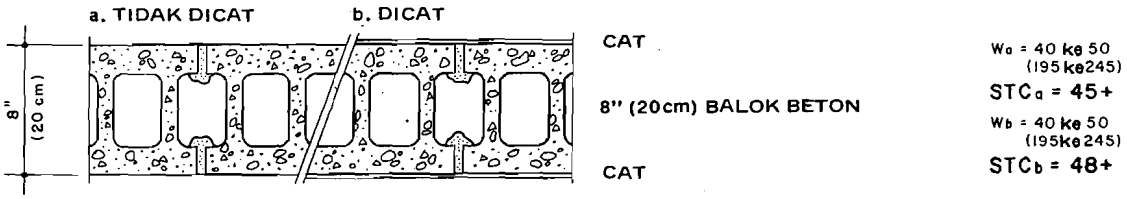
STC_a = 43+

W_b = 30 ke 40 (145 ke 195)

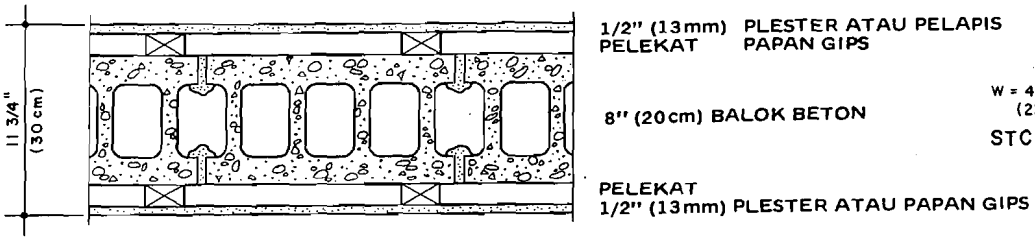
STC_b = 45+

Gambar B.1 (sambungan) Nilai insulasi-bunyi tembok bangunan batu: W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

11. 8"(20 cm) BALOK BETON PADAT BERLUBANG

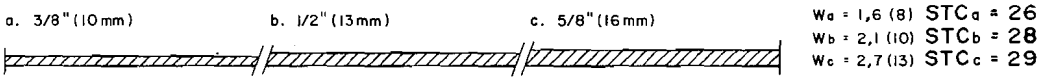


12.

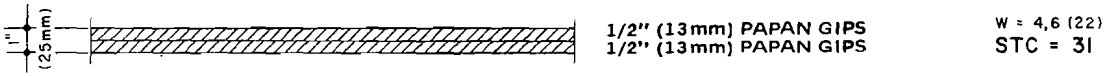


Gambar B.1 (sambungan) Nilai insulasi-bunyi tembok bangunan batu: W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

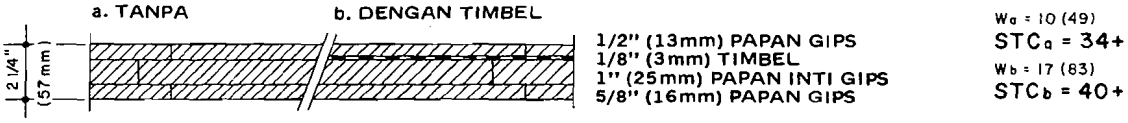
13. PAPAN DINDING GIPS



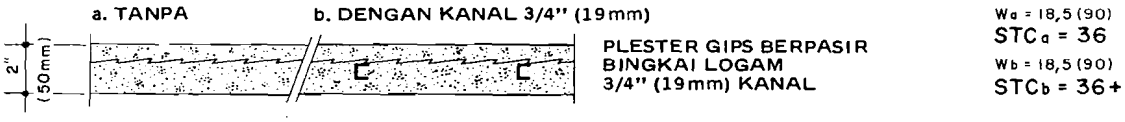
14. PAPAN DINDING GIPS DUA LAPIS



15. PANEL GIPS BERLAPIS-LAPIS

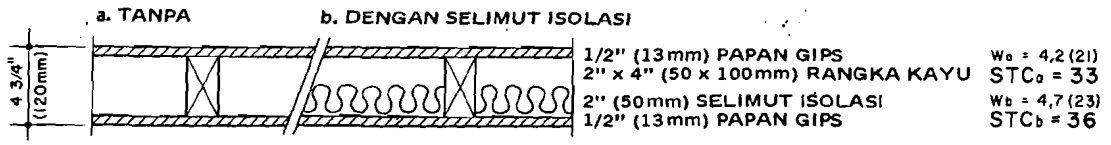


16. PLESTER PADAT

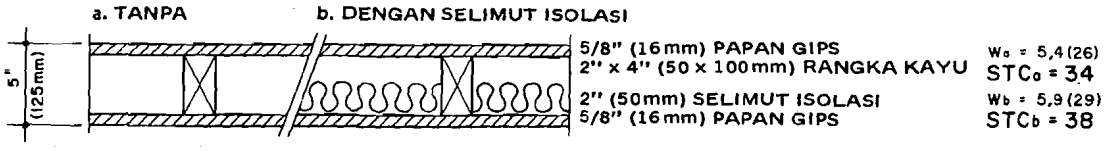


Gambar B.2 Nilai insulasi-bunyi tembok ringan dengan rakitan lembaran tunggal: W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai transmisi bunyi dalam decibel.

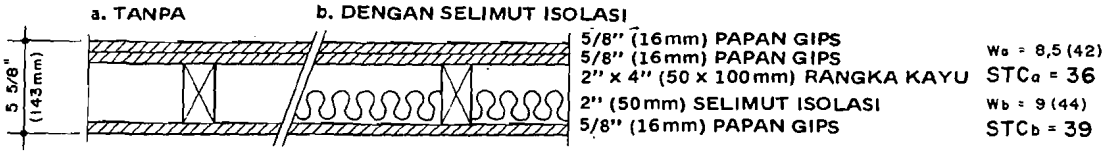
17.



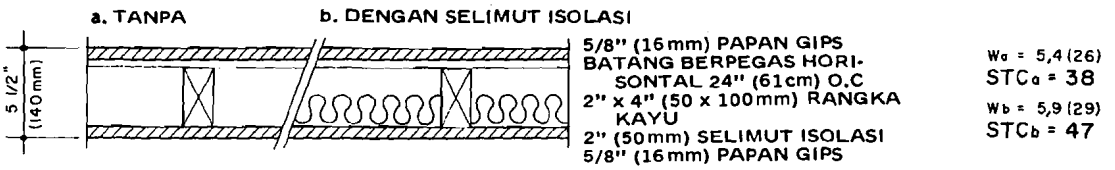
18.



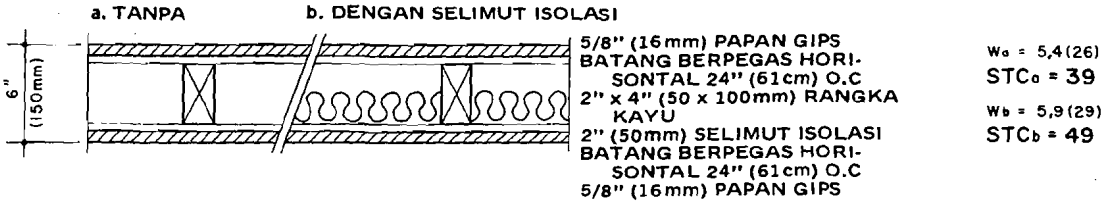
19.



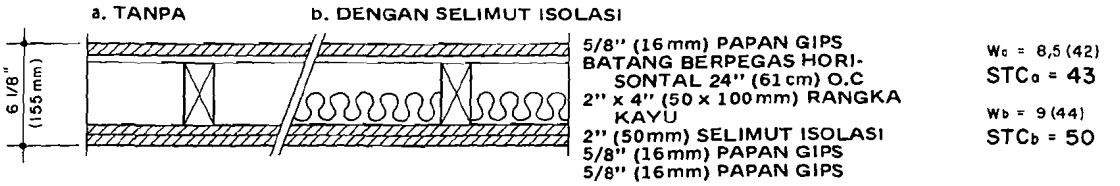
20.



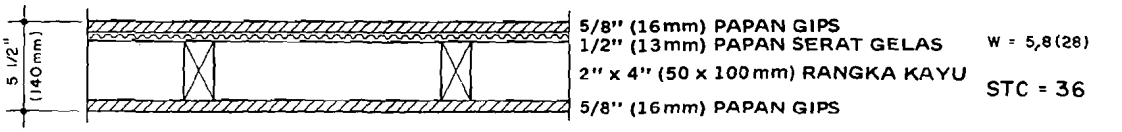
21.



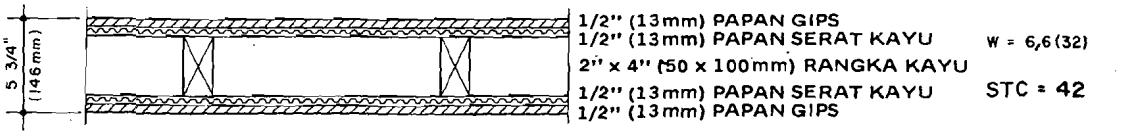
22.



23.

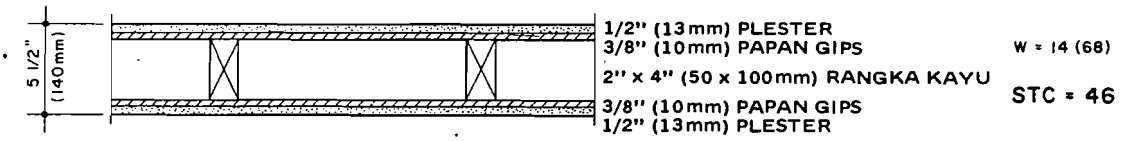


24.

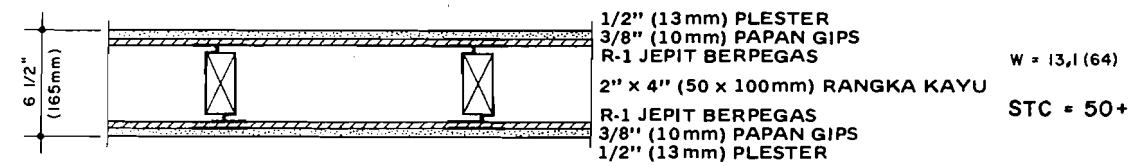


Gambar B.3 Nilai insulasi-bunyi tembok partisi balok-kayu dengan spasi 16-in (41 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

25.

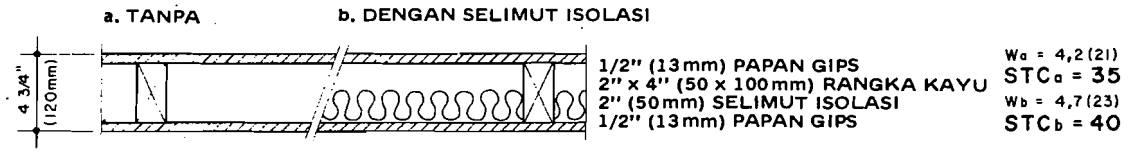


26.

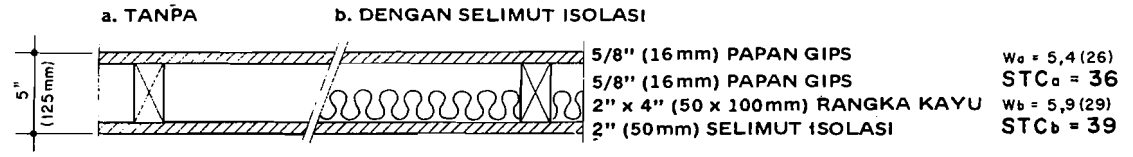


Gambar B.3 (sambungan) Nilai insulasi-bunyi tembok partisi balok-kayu dengan spasi 16-in (41 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter psersegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

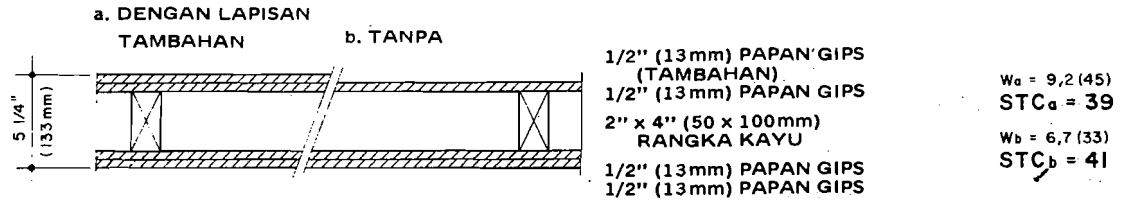
27.



28.

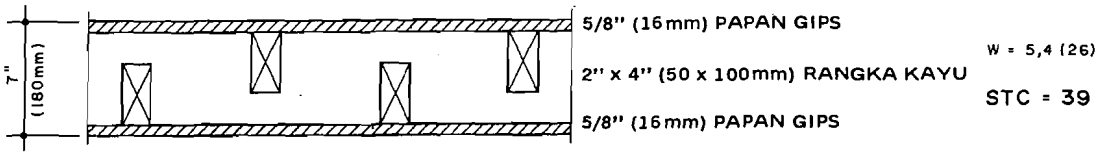


29.

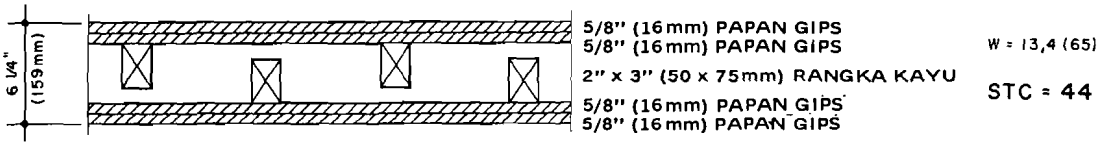


Gambar B.4 Nilai insulasi-bunyi tembok partisi balok-kayu dengan spaci 24-in (61 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

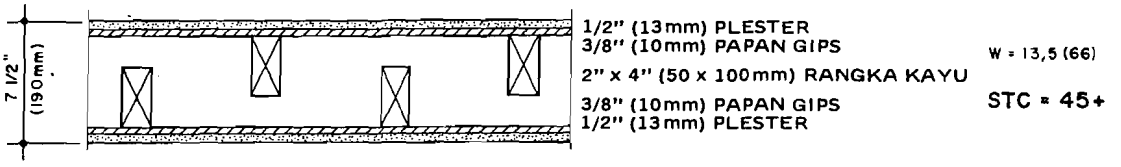
30.



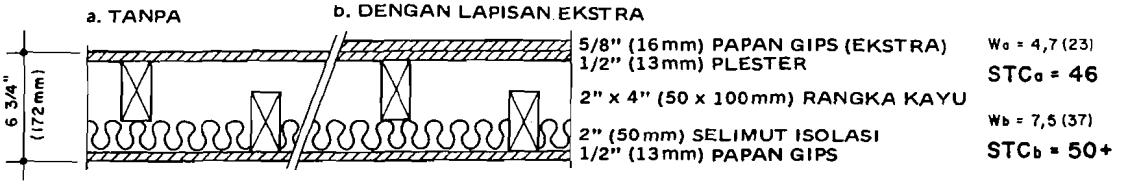
31.



32.

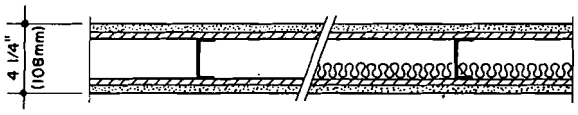


33.

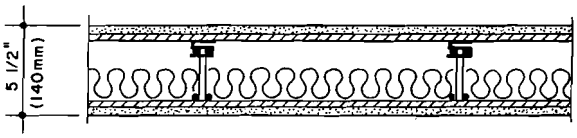


Gambar B.5 Nilai insulasi-bunyi tembok partisi dengan balok kayu yang diselang-seling dengan spasi 8-in (20 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

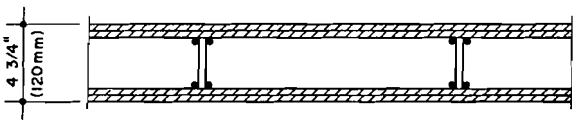
34.



35.

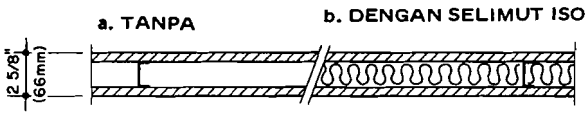


36.

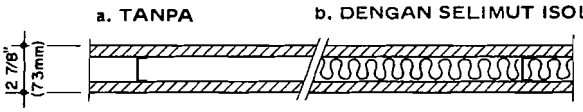


Gambar B.6 Nilai insulasi-bunyi tembok partisi dengan balok metal, dengan spasi 16-in (41 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

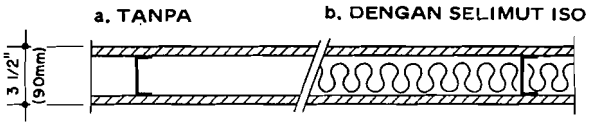
37.



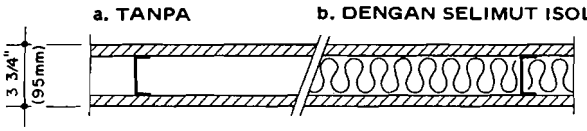
38.



39.

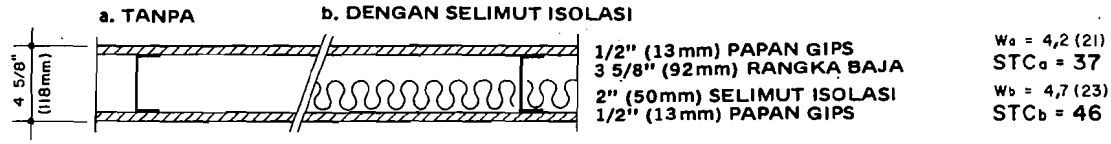


40.

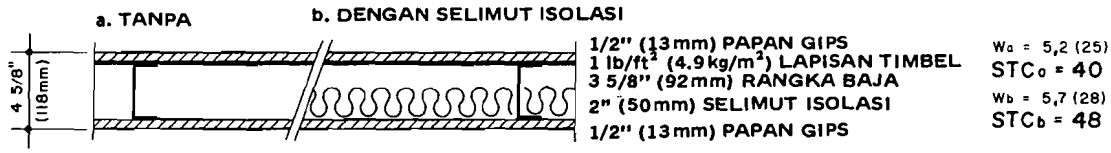


Gambar B.7 Nilai insulasi-bunyi tembok partisi dengan balok-metal, dengan spasi 24-in (61 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogr m per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

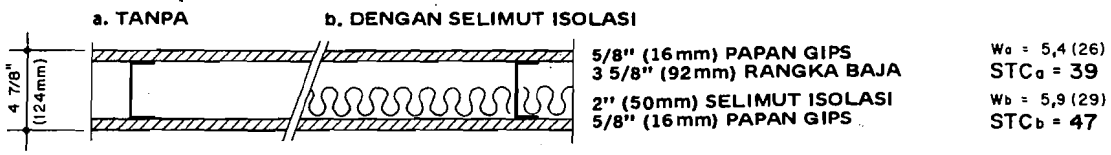
41.



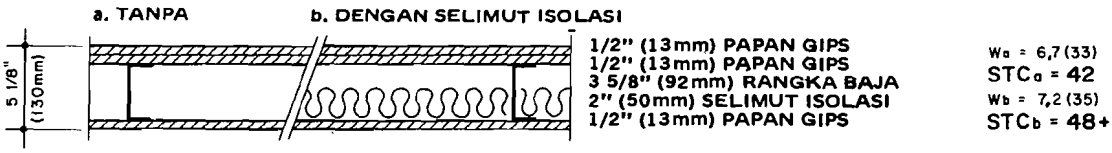
42.



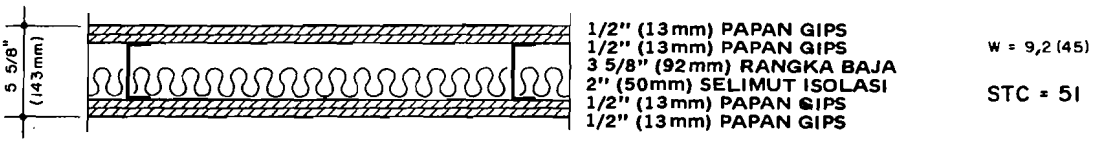
43.



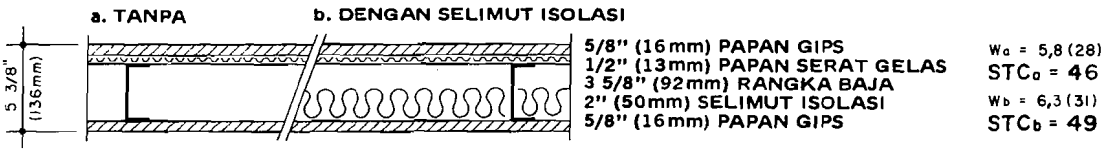
44.



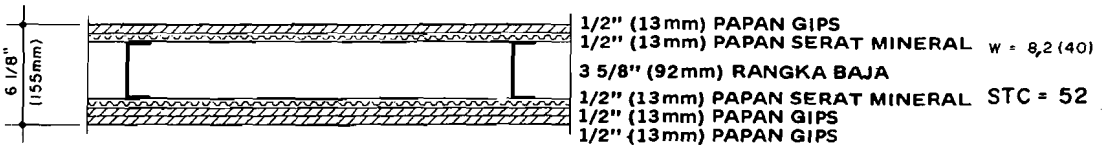
45.



46.

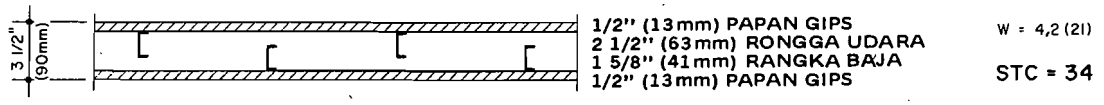


47.

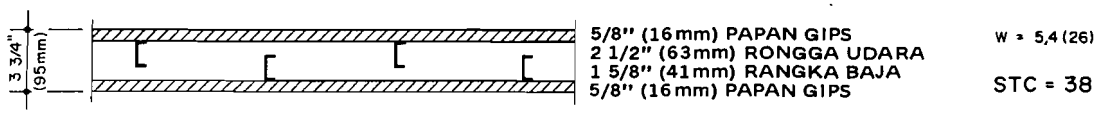


Gambar B.7 (sambungan) Nilai insulasi-bunyi tembok partisi dengan balok metal, dengan spasi 24-in (61 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

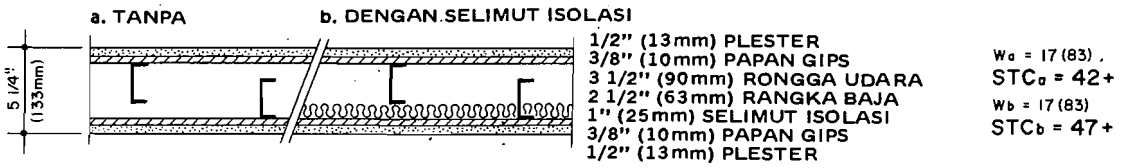
48.



49.

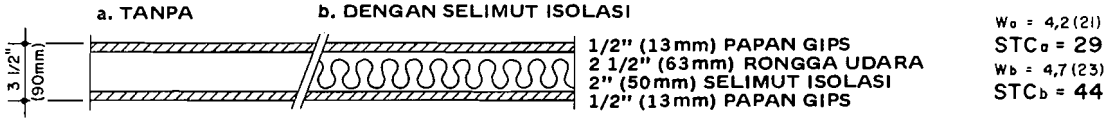


50.

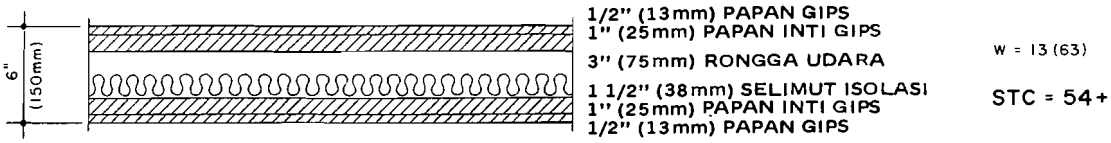


Gambar B.8 Nilai insulasi-bunyi tembok-metal partisi dengan balok logam yang diselang-seling dengan spasi 8-in (20 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

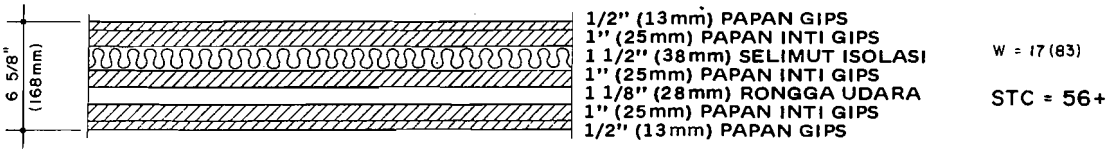
51.



52.



53.



Gambar B.9 Nilai insulasi-bunyi tembok partisi tanpa balok: W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel.

APENDIKS C

Nilai Insulasi Bunyi Lantai

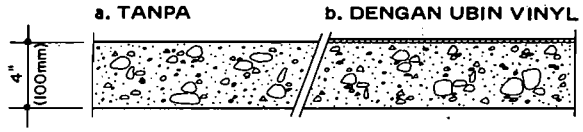
Gambar C.1 sampai C.4 menunjukkan sejumlah *konstruksi lantai* tertentu dengan data akustik arsitektur yang bersangkutan. Nilai STC dan IIC yang ditunjukkan pada tiap konstruksi lantai telah diperoleh dari hasil tes yang dikeluarkan oleh para ahli terkemuka dalam bidang testing dan penelitian akustik. Kebanyakan informasi yang ditunjukkan dalam Gambar C.1 sampai C.4 telah diterbitkan dalam *A Guide to Air-borne, Impact, and Structure-borne Noise Control in Multi-family Dwellings,* National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1967. Harus diingat bahwa dalam praktek nilai STC dan IIC dapat lebih kecil dari nilai yang ditunjukkan dalam gambar-gambar, karena pengerjaan yang kurang baik atau karena jejak transmisi samping yang tak dapat diduga dan tak dapat dilihat. Sebagai tambahan, langit-langit gantung dengan pegas dalam pemasangan lapangan jarang tampil seefektif seperti yang terjadi dalam laboratorium percobaan kecuali transmisi samping dieliminasi atau paling sedikit dibuat minimum.

Gambar-gambar ini juga menunjukkan bagaimana penampilan akustik lantai secara keseluruhan dipengaruhi oleh bermacam-macam komponen dan karakteristik fisiknya, seperti lapisan lantai berpegas, penunjang lantai tegar atau berpegas, jumlah dan tebal bermacam-macam lapisan, penggunaan selimut isolasi dalam rongga, tambahan langit-langit berpegas, jarak pisah balok silang (joist) dan lain-lain.

Konstruksi lantai yang ditunjukkan dalam Gambar C.1 sampai C.4 dapat dikelompokkan dengan cara berikut:

1. Lantai beton yang dicor di tempat (Gambar C.1)
2. Lantai beton yang dicor sebelumnya (Gambar C.2)
3. Lantai dengan balok silang kayu (Gambar C.3)
4. Lantai dengan balok silang baja (C.4)

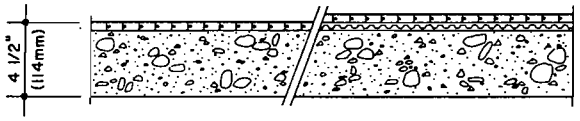
1. PELAT BETON 4" (100mm) LAB



1/8" (3mm) UBIN VINYL
4" (100mm) PELAT BETON

Wa = 53(260)
STCa = 44
IICa = 25
Wb = 54(265)
STCb = 44
IICb = 28

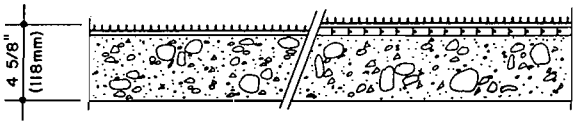
2.



1/2" (13mm) LANTAI KAYU EIK
1/2" (13mm) PAPAN FIBER
4" (100mm) PELAT BETON

Wa = 55(270)
STCa = 44
IICa = 45
Wb = 56(275)
STCb = 44
IICb = 45

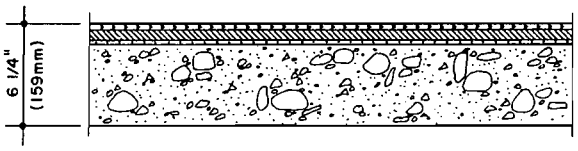
3.



3/8" (10mm) PERMADANI
1/4" (6mm) BANTALAN KARET BUSA
1/2" (13mm) LANTAI KAYU EIK
4" (100mm) PELAT BETON

Wa = 54(265)
STCa = 44
IICa = 80
Wb = 56(275)
STCb = 44
IICb = 84

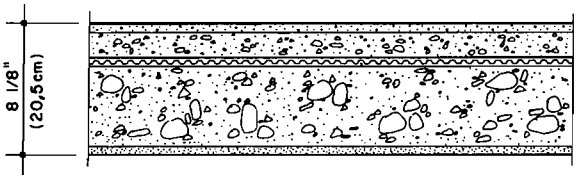
4. PELAT BETON 5" (125mm)



5/16" (8mm) LANTAI KAYU EIK
5/8" (16mm) BAGIAN LANTAI KAYU LAPIS
1/4" (6mm) GABUS
5" (125mm) PELAT BETON

W = 70(340)
STC = 48+
IIC = 47

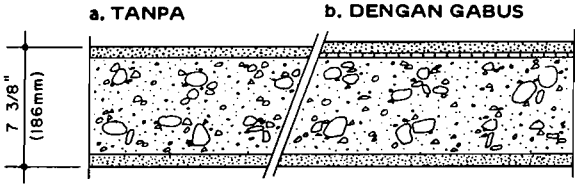
5.



LINOLEUM DI ATAS 1/2" (13mm) PITCH-MASTIC
1 1/2" (38mm) LAPISAN BETON ATAS KERTAS UNTUK BANGUNAN
1/2" (13mm) WOL KACA DIREKAT DENGAN ASPAL
5" (125mm) PELAT BETON
1/2" (13mm) PLESTER

W = 90(440)
STC = 51
IIC = 53

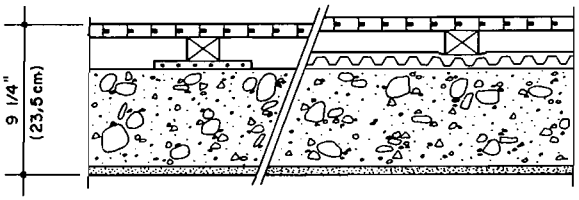
6. PELAT BETON 6" (150mm)



5/8" (16mm) ASPAL MASTIC
1/4" (6 mm) GABUS
6" (150mm) PELAT BETON
3/4" (19mm) PLESTER

Wa = 85(415)
STCa = 47
IICa = 31
Wb = 85(415)
STCb = 47
IICb = 46

7.

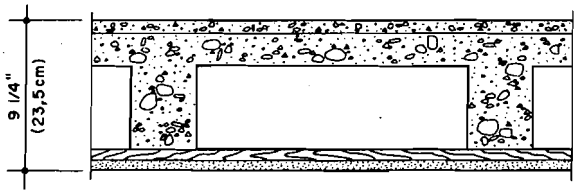


3/4" (19mm) LANTAI KAYU T & G
1 1/2" x 2" (38 x 50mm) BANTALAN
1/2" (13mm) GABUS//1" (25mm) SELIMUT WOL KACA
6" (150mm) PELAT BETON
1/2" (13mm) PLESTER

Wa = 75(365)
STCa = 53+
IICa = 53
Wb = 83(405)
STCb = 55
IICb = 57

Gambar C.1 Nilai insulasi-bunyi lantai beton yang dicor di tempat: W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel; IIC, nilai kelas insulasi benturan.

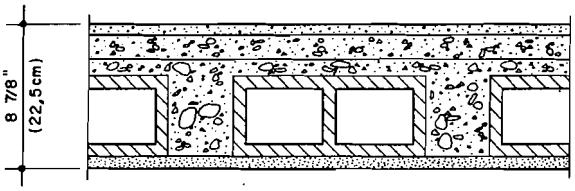
8. KONSTRUKSI BALOK DAN PELAT



3/4" (19mm) LAPISAN ATAS BETON
2" (50mm) PELAT BETON BERTULANG
5 1/4" (133mm) RONGGA UDARA
5/8" (16mm) MISTAR KAYU
5/8" (16mm) BULUH DAN PLESTER

W = 45 (220)
STC = 46
IIC = 42

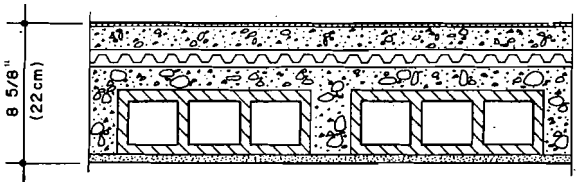
9. LANTAI BETON DENGAN BATA BERONGGA



5/8" (16mm) PITCH MASTIC
DI ATAS BULU KEMPA
1 1/2" (38mm) LAPISAN ATAS BETON
LANTAI BETON BERTULANG
5" x 12" (12,5 x 30,5cm) BATA
BERONGGA
3/4" (19mm) PLESTER

W = 70 (340)
STC = 49
IIC = 30

10.

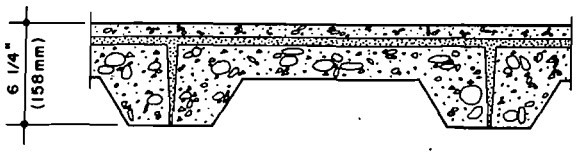


UBIN TERMOPLASTIK
1 1/2" (38mm) LAPISAN ATAS BETON
1" (25mm) WOL KACA DIREKAT
DENGAN ASPAL
LANTAI BETON BERTULANG
4" x 12" (10 x 30,5cm) BATA
BERONGGA
1/2" (13mm) PLESTER

W = 65 (315)
STC = 52
IIC = 47

Gambar C.1 (sambungan) Nilai insulasi-bunyi lantai beton yang dicor di tempat: W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel; IIC, nilai kelas insulasi benturan.

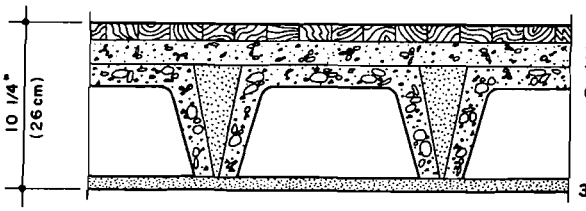
11.



3/4" (19mm) LAPISAN ATAS BETON ADUKAN
5" (125mm) ELEMEN BETON CETAKAN

W = 28 (136)
STC = 42
IIC = 32

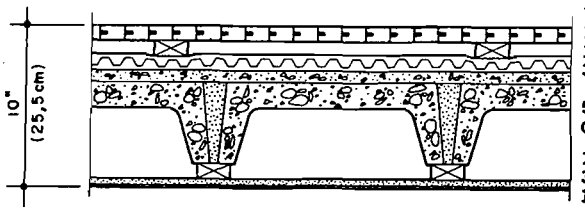
12.



1" (25mm) LANTAI KAYU
1 1/2" (38mm) LAPISAN ATAS BETON
7" (180mm) ELEMEN BETON CETAKAN
3/4" (19mm) PLESTER

W = 65 (315)
STC = 47
IIC = 42

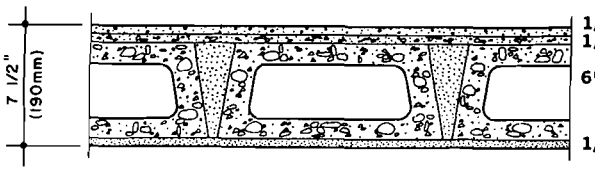
13.



7/8" (22mm) LANTAI KAYU T & G
1" x 2" (25 x 50 mm) BANTALAN
1" (25mm) SELIMUT WOL KACA
3/4" (19mm) LAPISAN ATAS BETON
5" (125mm) ELEMEN BETON CETAKAN
1" x 2" (25 x 50mm) PAPAN KAYU
3/8" (10mm) PAPAN GIPS
1/8" (3mm) PLESTER

W = 45 (220)
STC = 50
IIC = 53

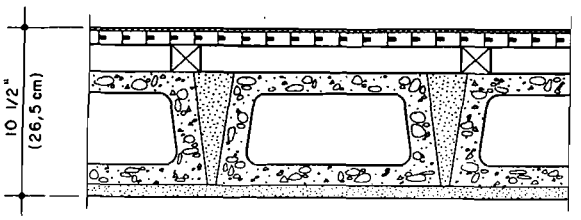
14.



1/2" (13mm) LANTAI PITCH-MASTIC
1/2" (13mm) LAPISAN ATAS BETON
6" (150mm) ELEMEN BETON CETAKAN
1/2" (13mm) PLESTER

W = 55 (270)
STC = 45
IIC = 31

15.

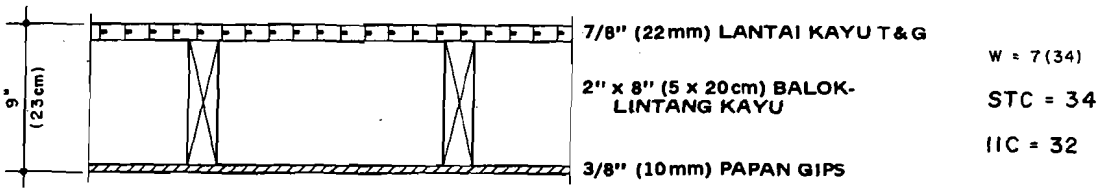


LINOLEUM
7/8" (22mm) LANTAI KAYU T & G
2" x 2" (50 x 50mm) PAPAN KAYU
7" (180mm) ELEMEN BETON CETAKAN
3/4" (19mm) PLESTER

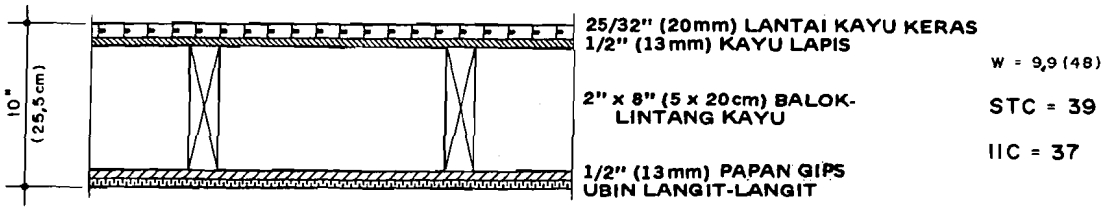
W = 45 (220)
STC = 44
IIC = 48

Gambar C.2 Nilai insulasi-bunyi lantai beton yang telah dicor sebelumnya: W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel; IIC, nilai kelas insulasi benturan.

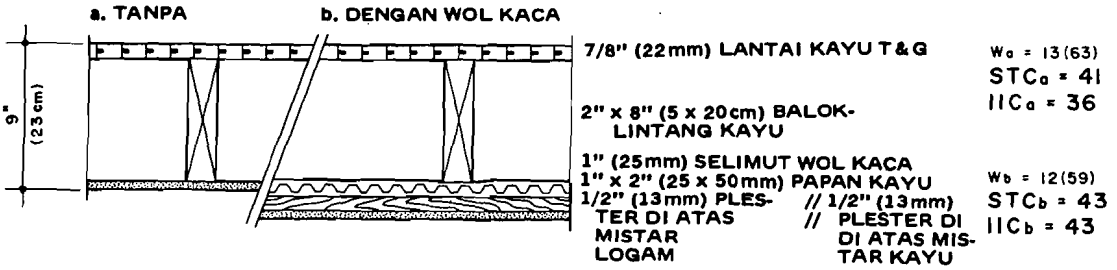
16.



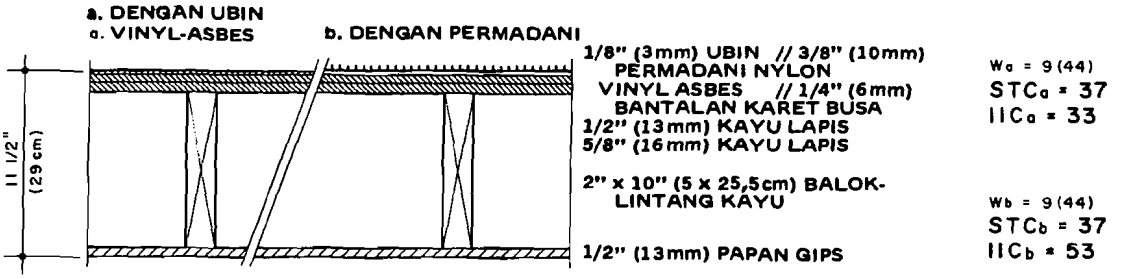
17.



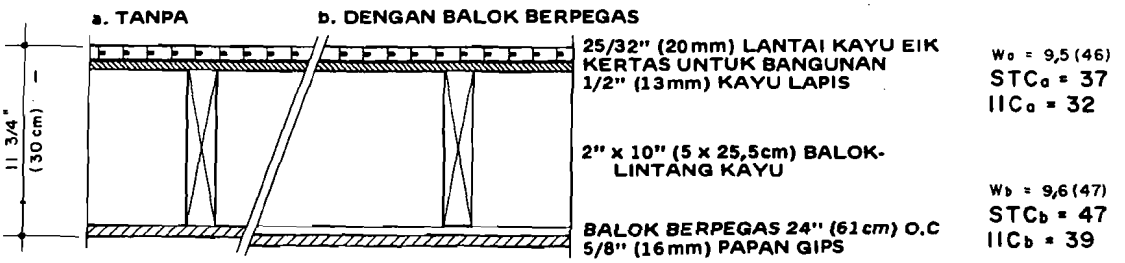
18.



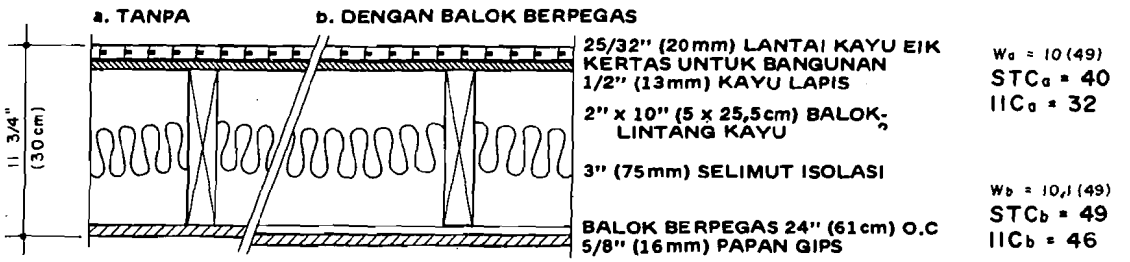
19.



20.

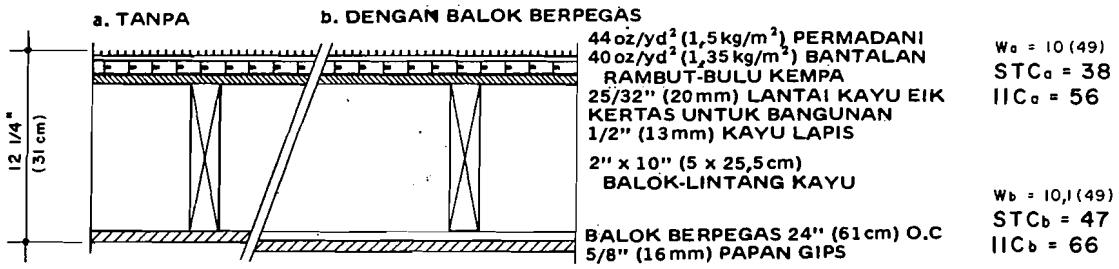


21.

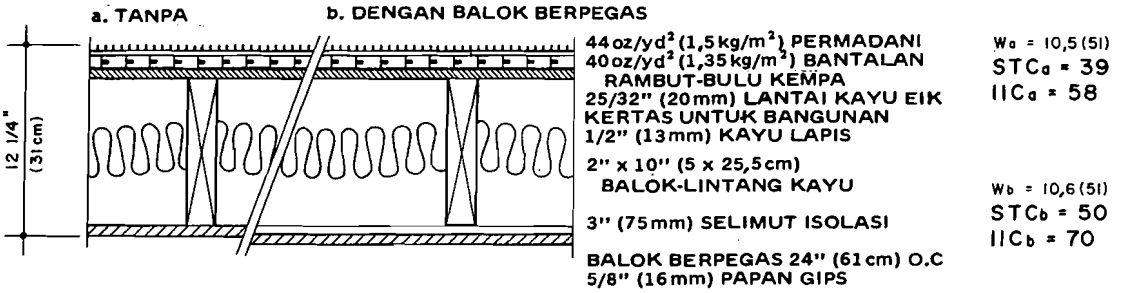


Gambar C.3 Nilai insulasi-bunyi lantai dengan balok silang kayu dengan spasi 16 inci (41 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel; IIC, nilai kelas insulasi-benturan.

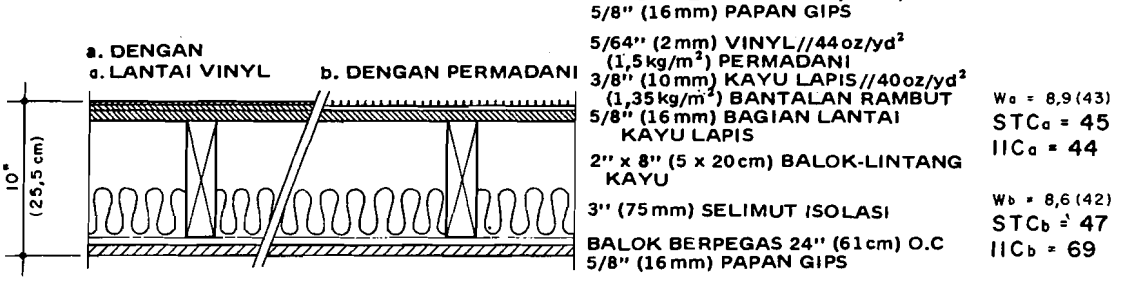
22.



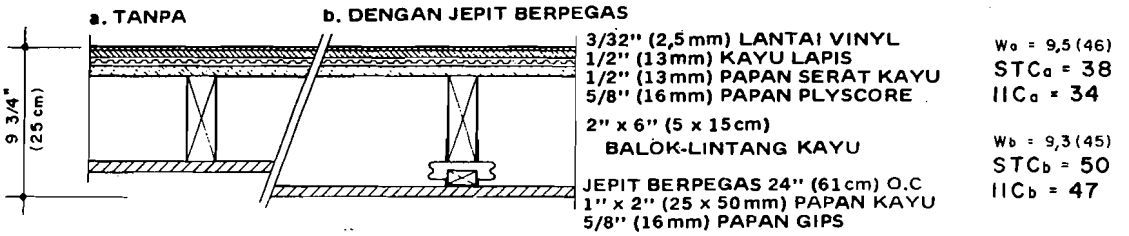
23.



24.

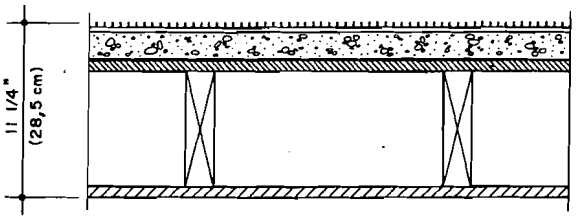


25.

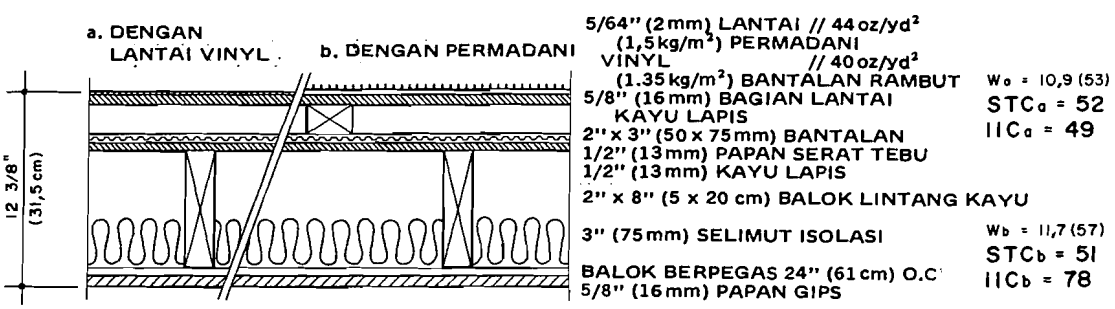


Gambar C.3 (sambungan) Nilai insulasi-bunyi lantai dengan balok silang kayu dengan spasi 16 inci (41 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel; IIC, nilai kelas insulasi-benturan.

26.

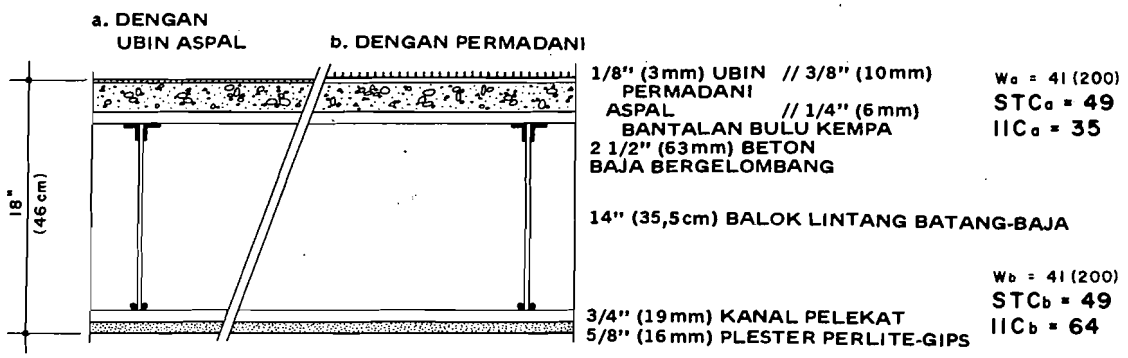


27.

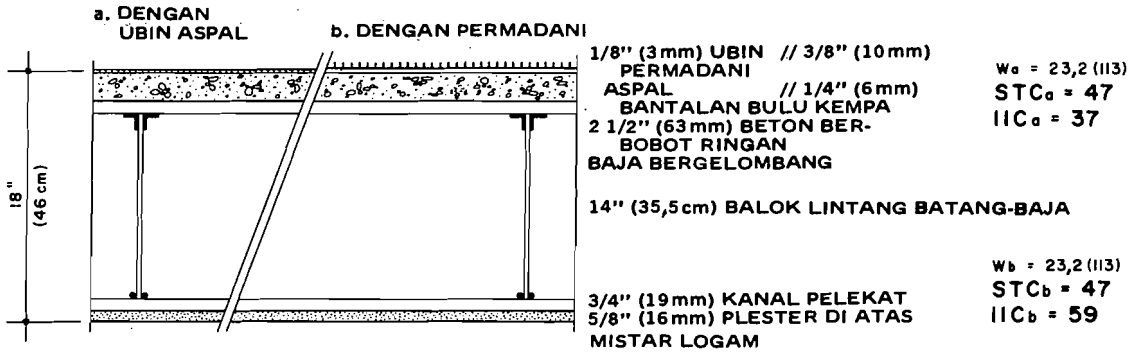


Gambar C.3 (sambungan) Nilai insulasi-bunyi lantai dengan balok silang kayu dengan spasi 16 inci (41 cm): W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel; IIC, nilai kelas insulasi-benturan.

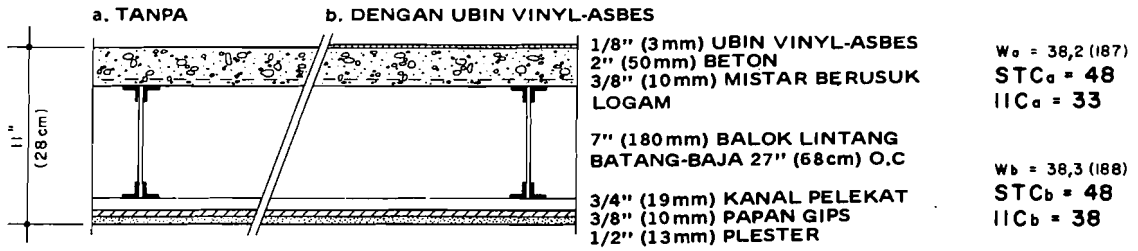
28.



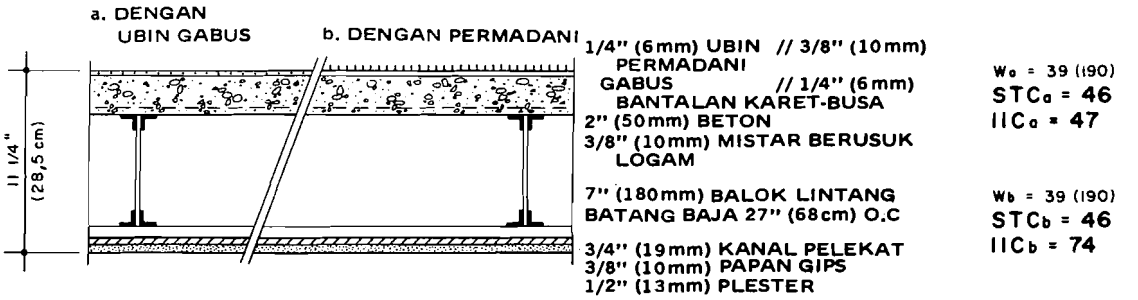
29.



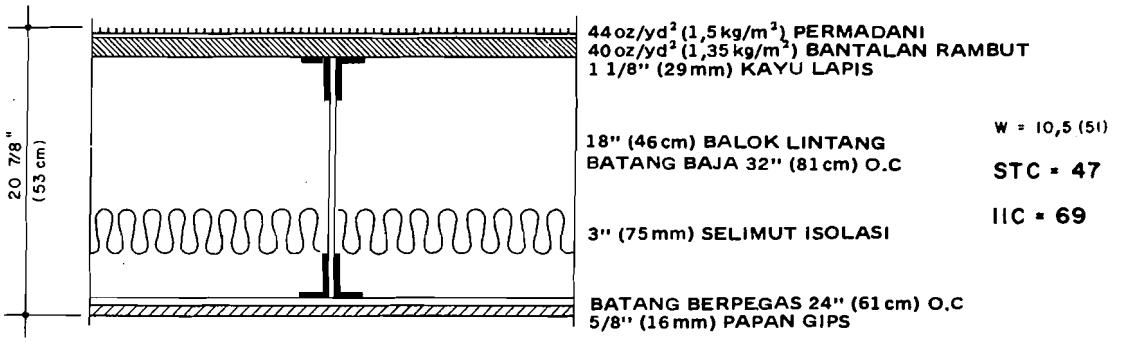
30.



31.



32.



Gambar C.4 Nilai insulasi-bunyi lantai balok silang baja: W, berat dalam pound per foot persegi (kilogram per meter persegi); STC, nilai kelas transmisi bunyi dalam decibel; IIC, nilai kelas insulasi benturan.

APENDIKS D

Kepustakaan Umum

Buku[1]

Knudsen, V.O., and C.M. Harris: *Acoustical Designing in Architecture*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1950, 457 halaman.

Bruel, P.V.: *Sound Insulation and Room Acoustics*, Chapman & Hall, Ltd., London, 1951, 275 halaman.

Ingerslev, F.: *Acoustics in Modern Building Practice*, The Architectural Press, London, 1952, 290 halaman.

Beranek, L.L.: *Acoustics*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1954, 481 halaman.

Conturie, L.: *L'Acoustique dans les batiments*, Editions Eyrolles, Paris, 1955, 284 halaman.

Burris-Meyer, H., and L.S. Goodfriend: *Acoustics for the Architect*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1957, 126 halaman.

Harris, C.M. (ed.): *Handbook of Noise Control*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1957, 1184 halaman.

Parkin, P.H., and H.R. Humphreys: *Acoustics, Noise and Buildings*, Frederick A. Praeger, Inc., New York, 1958, 331 halaman.

Beranek, L.L. (ed.): *Noise Reudction*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1960, 752 halaman.

Moore, J.E.: *Design for Good Acoustics*, The Architectural Press, London, 1961, 91 halaman.

Armagnac, M.R.: *L'Isolation acoustique dans le battiment*, Ampere, Paris, 1962.

Noise: The Wilson Report, Her Majesty's Stationery Office, London, Juli 1963, 235 halaman.

Furrer, W.: *Room and Building Acoustics and Noise Abatement*, Butterworth & Co. Ltd., London, 1964, 226 halaman.

Raes, A.C.: *Isolation sonore et acoustique architecturale*, Editions Chiron, Paris, 1964, 383 halaman.

Doelle, L.L.: *Acoustics in Architectural Design*, Bibliography 29, National Research Council, Ottawa, 1965, 543 halaman.

Close, P.D.: *Sound Control and Thermal Insulation of Buildings*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1966, 502 halaman.

Newman, R.B., and W.J. Cavanaugh: "Acoustics", in J.H. Callender (ed.), *Time-saver Standards*, 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1966, halaman 609–648.

Hines, W.A.: *Noise in Industry*, Business Publications Ltd., London, 1966, 197 halaman.

Purkis, H.J.: *Building Physics: Acoustics*, Pergamon Press, London, 1966, 141 halaman.

Berendt, R.D., G.E. Winzer, and C.B. Burroughs: *A Guide to Air-borne, Impact, and Structure-borne Noise Control in Multi-familty Dwellings*, U.S. Department of Housing and Urban Development, Washington, D.C., September 1967.

Lamoral, R.: *Problemes d'acoustique des salles et des studios*, Editions Chiron, Paris, 1967, 189 halaman.

Rettinger, M.: *Acoustics*, Chemical Publishing Company, Inc., New York, 1968, 386 halaman.

Day, B.F., R.D. Ford, and P. Lord (eds.): *Building Acoustics*, Elsevier Publishing Company Ltd., New York, 1969, 120 halaman.

Lawrence, A.: *Architectural Acoustics*, Elsevier Publishing Company Ltd., Barking, London, 1970, 225 halaman.

[1] Daftar dibuat dalam urutan kronologis karena diyakini bahwa hal ini akan lebih berguna bagi pembaca daripada susunan menurut abjad.