

Pemodelan Perubahan Iklim dengan Metode Least Square Non-Linier dan Fast Fourier Transform

TESIS

Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister dari
Institut Teknologi Bandung

Oleh :

Dedy Farhamsa

NIM : 23506023

Program Studi Magister Informatika



SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA

INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

2008

Abstrak

Perubahan iklim saat ini telah menjadi perhatian global dan Indonesia adalah salah satu negara yang paling rentan terkena dampak negatif dari perubahan tersebut. Salah satu efek perubahan iklim yang dapat dirasakan adalah pergeseran musim hujan dan kemarau. Pergeseran musim ini berimbas pada intensitas pola cuaca yang semakin ekstrim. Dengan kata lain, pola cuaca menjadi sulit untuk diprediksi.

Dalam tesis ini, pola cuaca yang semakin tidak stabil coba dibuat sebuah model dengan metode *Least Square non-Linier* dan *Fast Fourier Transform (FFT)*. Metode *Least Square* digunakan untuk mencari kurva terbaik yang dapat memproyeksikan perubahan data cuaca yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir, sedangkan metode FFT digunakan untuk mencari sifat berulangnya suatu trend anomali cuaca. Gabungan kedua metode ini dapat memberikan model terbaik untuk data cuaca yang kompleks. Beberapa metode yang diikutsertakan dalam rangka menghasilkan model dalam bentuk grafik dan kontur distribusi data cuaca adalah *Lowess and Loess Smoothing* dan *Punctual Kriging*. Semua metode dirangkum dalam perangkat lunak terintegrasi yang diberi nama Sistem Pemodelan Perubahan Iklim.

Studi kasus untuk pemakaian perangkat lunak Sistem Pemodelan Perubahan Iklim dibatasi hanya untuk daerah Jakarta dan sekitarnya. Untuk daerah Cengkareng, model yang dihasilkan dapat membuat prediksi perubahan iklim untuk beberapa tahun ke depan dengan ketepatan 91%. Sementara itu untuk daerah Kemayoran 76%, Tanjung Priok 88%, Pd Betung 66%, dan Dermaga Bogor 84%.

Kata Kunci : Model Perubahan Iklim, Least Square Non-Linier, Fast Fourier Transform(FFT).

Abstract

Climate change has become into a global attention, and Indonesia is the one of the country with the most negative risk which is stricken by the impact from the change. One of climate change effect that can be sensed is rain and drought displacement. The friction of the season induces at the intensity of the weather pattern that becomes more extreme. In the other words, the weather pattern is difficult to be predicted.

In this thesis, the unstable weather pattern tried to make a model using Least Square non-linear and Fast Fourier Transform (FFT) method. Least Square method was applied to find the best curve which could reflect the weather change data which is happened in the last few years, whilst FFT method was applied to find a repetitive characteristic of a trend from an anomaly of weather. The combination of the both methods could give the best model for the complex weather data. Some methods that took a part in order to produce models in a graph and contour distribution were Lowess & Loess Smoothing and Punctual Kriging. All of the methods are resumed into an integrated software which was called Climate Change Modeling System.

Case study for the usage of this Climate Change Modeling System confined only in Jakarta areas and its surroundings. For Cengkareng area, this model could make a prediction of climate change for a few years forwards with the accuracy at 91%. Whereas for Kemayoran area was 76%, Tanjung Priok was 88%, Pd Betung was 66%, and Dermaga Bogor was 84%.

Keyword : Climate Change Model, Least Square non-linear, Fast Fourier Transform (FFT).

**Pemodelan Perubahan Iklim dengan Metode
Least Square Non-Linier dan Fast Fourier Transform**

Oleh :

Dedy Farhamsa

NIM : 23506023

Program Studi Magister Informatika

Menyetujui

Tanggal, 14 Agustus 2008

Pembimbing II

Pembimbing I

Dr. Armi Susandi, MT

Dr. Oerip S. Santoso, M.Sc

... untuk Istriku ...

..... dan semuanya

Ucapan Terima Kasih

Syukur alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah meluruskan niat dan menguatkan hati penulis sehingga tesis ini dapat selesai tepat pada waktunya. Penulis sadar bahwa tidaklah mungkin tesis ini dapat dirampungkan tanpa partisipasi dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya buat orang-orang yang telah berjasa dibalik penyelesaian tesis ini.

Buat bapak Dr. Oerif Santoso, MSc selaku pembimbing utama atas segala saran, kritik, dan motivasinya selama penelitian berlangsung. Bapak Dr. Armi MT yang telah memberikan inspirasi kepada penulis dalam merumuskan pengerjaan tesis ini. Buat ibu Dra. Harlili, MSc dan Yani Widyarti, MT yang telah banyak memberi masukan dalam penyempurnaan tesis ini. Terima kasih sebanyak-banyaknya penulis sampaikan kepada ibu Hira sebagai wali kelas yang selama ini telah banyak menanamkan dasar-dasar pengetahuan informatikanya yang menjadi bekal kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

Buat teman-teman RPL 2006 yang bersama-sama melewati masa dua tahun dibangku kuliah. Terima kasih atas sharing ilmu, diskusi, ajaran, pencerahan, dan sebagainya sehingga keputusan penulis untuk melanjutkan sekolah di Magister Informatika bidang Rekayasa Perangkat Lunak "*tidaklah sia-sia*". Khusus buat sahabatku Tim Mawuts (Suprih Widodo, Nur Afif, Dudi Sarifudin, dan Lukfi Halim) yang bersama penulis berbagi duka menjalani beratnya hidup diluar *background study* masing-masing, namun kalian memang tim yang bisa diandalkan.

Buat saudara satu kontrakan, ka' Ibrahim Sota yang telah banyak memberikan pola pikir kepada penulis tentang hidup yang lebih efektif dan Hamrin Suardi sebagai *rival* debat dan keluh kesah. Semoga kalian kelak menjadi orang hebat.

Kepada kedua orang tuaku, terima kasih atas restu dan dukungannya. Terakhir dan spesial, untuk istriku tercinta, Wardah Tahir. Ssi, yang memberikan perhatian penuh dan tiada henti. Semoga Allah meridhoi apa yang kita lakukan dan memberikan apa yang pantas kita dapatkan. Amin.

Bandung, 14 Agustus 2008

Penulis

Daftar Isi

Abstrak	i
Abstract	ii
Halaman Pengesahan	iii
Ucapan Terima Kasih	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel.....	ix
Bab I.Pendahuluan	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah	1
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Batasan.....	2
I.5. Metodologi Pembangunan Perangkat Lunak.....	2
Bab II. Tinjauan Pustaka	3
II.1. Pemodelan Data	3
II.1.A. Bentuk Umum Linier Least Square	3
II.1.B. Bentuk Non-Linier Least Square	5
II.1.C. Metode Levenberg-Marquardt.....	6
II.2. Filter Data dengan Transformasi Fast Fourier.....	8
II.3. Prosedur Penghalusan Regresi Data Terlokalisasi, Lowess dan Loess	9
II.4. Pemetaan Data.....	10
II.5. Perhitungan <i>error</i> dan korelasi model	11
Bab III. Model Kebutuhan dan Analisis.....	13
III.1. Deskripsi Masalah dan Konsep Penyelesaian.....	13
III.1.A. Proses Pengolahan dan Pemodelan Data Iklim Indonesia Saat Ini.....	13
III.1.B. Permasalahan Yang Muncul Pada Proses Saat Ini	14
III.1.C. Konsep Penyelesaian Masalah dan Prosedur Pemodelan Perubahan Iklim yang Direncanakan	14
III.2. Kebutuhan Perangkat Lunak Pemodelan Perubahan Iklim	16
III.2.B. Diskripsi Umum Perangkat Lunak Pemodelan Perubahan Iklim	17
III.2.C. Fitur Utama Perangkat Lunak Pemodelan Perubahan Iklim	17
III.2.D. Model Use-Case.....	18
III.3. Model Analisis Sistem Perubahan Iklim.....	21
III.3.A. Realisasi Use Case Tahap Analisis	21
III.3.B. Diagram Kelas Keseluruhan Tahap Perancangan.....	24
Bab IV. Perancangan Sistem Pemodelan Perubahan Iklim.....	25
IV.1. Perancangan Model Sistem Perubahan Iklim	25
IV.1.A. Realisasi Use Case Tahap Perancangan.....	26
IV.1.B. Diagram Kelas Keseluruhan Tahap Perancangan.....	31
IV.1.C. Diagram State Chart Objek Fitting.....	32
IV.2. Diagram Komponen Sistem Pemodelan Perubahan Iklim.....	34
IV.3. Perancangan Antarmuka	35
Bab V. Implementasi dan Pengujian Sistem Pemodelan Perubahan Iklim	37
V.1. Implementasi Kelas	37
V.2. Implementasi Antar Muka.....	38
V.3. Pengujian Sistem Pemodelan Perubahan Iklim.....	41
V.4. Teknik Pengujian	41
V.4.A. Pengujian Performansi Metode	41
V.4.B. Pengujian Fungsional	42
Bab VI. Hasil Penelitian & Pembahasan	45

VI.1. Persiapan Data.....	45
VI.2. Hasil Penelitian.....	45
VI.2.A. Grafik Curah Hujan dan Model yang Dipilih.....	45
VI.2.B. Analisis Sifat Periodik Anomali Curah Hujan	48
VI.2.C. Model Anomali Curah Hujan dan Prediksi Anomali	51
VI.2.D. Prediksi Curah Hujan	53
VI.2.E. Kontur Distribusi Curah Hujan	55
Bab VII. Kesimpulan dan Saran.....	56
VII.1. Kesimpulan	56
VII.2. Saran	57
Referensi	58
Lampiran A Library Model Pada Sistem Pemodelan Perubahan Iklim.....	a
Lampiran B Pengujian Performansi Sistem Pemodelan Perubahan Iklim.....	c
Lampiran C Zona dan Lokasi Stasiun Observasi Cuaca.....	g
Lampiran C Grafik Model Anomali.....	i
Lampiran D Tabel & Grafik Prediksi Curah Hujan	k
Lampiran E Kontur Distribusi Curah Hujan.....	n

Daftar Gambar

Gambar III-1.	Alur kerja dalam proses analisis model.	15
Gambar III-2.	Rencana alur kerja penelitian	16
Gambar III-3	Lingkup kerja sistem pemodelan iklim.....	17
Gambar III-4	Use case diagram sistem perubahan iklim.....	18
Gambar III-5	Model analisis mengakses data	22
Gambar III-6	Model analisis mencari sifat periodik data	22
Gambar III-7	Model analisis pemodelan perubahan iklim	23
Gambar III-8	Model analisis prediksi perubahan iklim.....	24
Gambar III-9	Model analisis keseluruhan	24
Gambar IV-1	Diagram sekuen mengakses data	25
Gambar IV-2	Diagram kelas mengakses data	26
Gambar IV-3	Diagram sekuen mencari sifat periodik data	27
Gambar IV-4	Diagram kelas mencari sifat periodik data	27
Gambar IV-5	Diagram sekuen memodelkan data	28
Gambar IV-6	Diagram kelas memodelkan data	29
Gambar IV-7	Diagram sekuen memprediksi perubahan data.....	30
Gambar IV-8	Diagram kelas memprediksi perubahan data.....	30
Gambar IV-9	Diagram kelas keseluruhan.....	31
Gambar IV-10.	Diagram state chat objek Fitting.....	32
Gambar IV-11.	Diagram komponen sistem pemodelan perubahan iklim	34
Gambar IV-12.	Rancangan antarmuka utama	35
Gambar IV-13.	Rancangan antarmuka FitOption	36
Gambar IV-14.	Rancangan antarmuka kontur distribusi hujan	36
Gambar V-1.	Implementasi antarmuka utama	39
Gambar V-2.	Implementasi antarmuka FitOption.....	40
Gambar V-3.	Implementasi antarmuka kontur distribusi curah hujan	40
Gambar VI-1.	Data curah hujan bulanan stasiun Cengkareng dan model terpilih	47
Gambar VI-2.	Grafik anomali curah hujan dari Stasiun Cengkareng.....	49
Gambar VI-3.	Grafik daya peubah vs prioda anomali dari Stasiun Cengkareng	49
Gambar VI-4.	Trend perubahan anomali.....	53
Gambar VI-5	Perbandingan data curah hujan sebenarnya dengan data prediksi sistem.....	54

Daftar Tabel

Tabel III-1	Use case mencari sifat periodik data.....	19
Tabel III-2	Use case mencari sifat periodik data.....	20
Tabel III-3	Skenario use case memodelkan sebaran data.....	20
Tabel III-4	Skenario use case memprediksi perubahan data	21
Tabel IV-1.	Rincian kelas	31
Tabel V-1	Implementasi kelas	37
Tabel V-2	Hasil uji validasi dengan perangkat lunak Matlab.....	42
Tabel V-3.	Skenario uji verifikasi	42
Tabel VI-1.	Jumlah data bulanan untuk tiap stasiun observasi pemantau cuaca milik BMG	45
Tabel VI-2	Daftar fungsi yang dicoba untuk memodelkan data curah hujan di daerah sekitar Stasiun Cengkareng.....	46
Tabel VI-3	Fungsi fitting terpilih untuk empat lokasi Stasiun berbeda.....	48
Tabel VI-4	Daftar lima frekuensi anomali dominan untuk tiap daerah Stasiun Pemantau Cuaca	50
Tabel VI-5	Daftar lima frekuensi anomali dominan setelah dilakukan penghalusan data untuk tiap daerah Stasiun Pemantau Cuaca	52
Tabel VI-6	Korelasi antara data curah hujan sebenarnya dengan data model prediksi yang dihasilkan oleh sistem untuk tiap lokasi stasiun.	55

Bab I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir para ilmuwan mengindikasikan adanya perubahan iklim yang terjadi pada semua belahan bumi [10]. Dampak perubahan iklim tersebut dikhawatirkan akan berimbas buruk terhadap banyak aspek dari punahnya beberapa spesies hewan, bencana alam, politik, ekonomi dan gaya hidup. Salah satu dampak yang menjadi dasar penelitian dalam tesis ini adalah sifat cuaca yang tidak dapat di prediksi lagi, data-data metereologi seperti curah hujan menjadi kehilangan sifat periodiknya [7]. Hal ini tentu saja akan mempengaruhi banyak sektor, misalnya kegiatan pertanian yang sangat bergantung pada siklus musim hujan-kemarau untuk masa bercocok tanam dan panen.

Untuk mempelajari sifat perubahan iklim yang terjadi, dibutuhkan sebuah model yang dapat mewakili data-data metereologi, sehingga dengan model tersebut para peneliti dapat memprediksikan perilaku cuaca di masa akan datang dengan mengikuti histori data di masa lalu. Yang dimaksud model disini adalah pemodelan matematika, dimana data diolah dengan metode-metode matematika sehingga menghasilkan suatu persamaan atau fungsi yang dapat mewakili data tersebut.

Namun, memodelkan fungsi non-linier seperti ini menjadi tantangan tersendiri karena banyaknya parameter yang harus dipertimbangkan. Oleh karena itu dibutuhkan perangkat yang dapat menghasilkan model yang paling sesuai dengan memilih metoda yang mempunyai faktor *error* terkecil. Dalam tesis ini data-data metereologi akan dicacah dengan metode Fast Fourier Transform (FFT) untuk melihat sifat periodiknya kemudian dimodel dengan metode Least Square non Linier.

I.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang dapat diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang perangkat lunak untuk pemodelan data yang kompleks dan non-linier.

2. Bagaimana perangkat lunak mampu menjawab isu perubahan iklim dengan membuat peta perubahan cuaca sehingga pengguna perangkat lunak dapat mengetahui sifat dan memprediksi cuaca di masa mendatang.

I.3. Tujuan

Tujuan tesis ini adalah

1. Merancang dan membangun perangkat lunak pemodelan data iklim untuk mencari sifat dan prediksi iklim di masa mendatang.
2. Melakukan penelitian sebagai uji kasus perubahan cuaca terhadap suatu daerah menggunakan perangkat lunak yang dibangun.

I.4. Batasan

1. Pada uji kasus pemodelan perubahan iklim di Indonesia, data yang diteliti hanya berupa data curah hujan
2. Data - data yang diambil untuk uji kasus hanya untuk daerah Jakarta dan sekitarnya.

I.5. Metodologi Pembangunan Perangkat Lunak

Pembangunan perangkat lunak yang akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan pengguna pemodelan perubahan iklim dirancang dengan menggunakan metode pembangunan perangkat lunak berorientasi objek. Penggambaran sistem secara dinamik maupun statik mengikuti standar penggambaran untuk konsep yang berorientasi objek. Diagram-diagram yang digunakan seluruhnya mengikuti standar dari *Unified Modeling Language* (UML). Proses pembangunan sistem dilakukan dengan mengikuti standar *Rational Unified Process* (RUP) yang mendukung pembangunan sistem berorientasi objek.

Bab II. Tinjauan Pustaka

II.1. Pemodelan Data

Pemodelan matematika merupakan perpaduan disiplin ilmu matematika terapan, matematika-fisika, dan analisis numerik dalam merumuskan dan memecahkan permasalahan matematika yang kompleks. Model yang dihasilkan adalah suatu abstrak sistem yang digambarkan melalui bahasa matematika. Pada penerapannya proses pemodelan dapat dilakukan dengan banyak cara antara lain sistem dinamik, model statistik dan model teori game.

Dalam tesis ini, pemodelan data dilakukan secara model statistik menggunakan metode Least Square. Metode ini mencari kurva yang fit pada data sehingga dapat menginterpretasikan variasi data. Proses pembuatan kurva tersebut disebut *kurva fitting*[4].

II.1.A. Bentuk Umum Linier Least Square

Bentuk umum linier least square dibangun dari persamaan *polynomial* orde m

$$y(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m \quad (\text{II.1})$$

atau dapat ditulis sebagai

$$y(x) = \sum_{k=0}^m a_k X_k(x_i) \quad (\text{II.2})$$

dimana $X_0 \dots X_k$ adalah fungsi sembarang x , dapat berupa sinus dan cosinus pada kasus persamaan linier deret harmonik atau bahkan fungsi non-linier. Dalam cakupan fungsi linier, model diatas hanya bergantung pada satu parameter, yaitu a_k .

Untuk mengukur seberapa bagus model bersesuaian dengan data, digunakan fungsi *chi-square*

$$\chi^2 = \sum_{i=0}^n \left[\frac{y_i - \sum_{k=0}^m a_k X_k(x_i)}{\sigma_i} \right]^2 \quad (\text{II.3})$$

σ_i adalah ukuran *error* atau *standar deviasi* untuk data ke- i . Apabila nilai standar deviasi yang belum diketahui, biasanya diberi nilai konstan $\sigma = 1$.

Perbedaan minimum antara model dengan data terjadi pada saat $\frac{\partial \chi^2}{\partial a_k}$ bernilai 0, kondisi ini menghasilkan persamaan (II.3) menjadi

$$\sum_{i=0}^n \left(\frac{1}{\sigma_i^2} \right) \left[y_i - \sum_{k=0}^m a_k X_k(x_i) \right] X_l(x_i) = 0 \quad (\text{II. 4})$$

atau

$$\sum_{k=0}^m a_{kl} a_k = \beta_l \quad (\text{II. 5})$$

dimana

$$a_{kl} = \sum_{i=0}^n \frac{X_k(x_i) X_l(x_i)}{\sigma_i^2} \quad \text{yang equivalen dengan} \quad \mathbf{a}_{kl} = \mathbf{A}^T \mathbf{A} \quad (\text{II. 5a})$$

$$\beta_l = \sum_{i=0}^n y_i \frac{X_l(x_i)}{\sigma_i} \quad \text{yang equivalen dengan} \quad \beta_l = \mathbf{A}^T \mathbf{b} \quad (\text{II. 5b})$$

disini \mathbf{A} merupakan *design matrix* berdimensi $n \times m$ untuk permasalahan fitting.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \frac{X_1(x_1)}{\sigma_1} & \frac{X_2(x_1)}{\sigma_1} & \dots & \frac{X_m(x_1)}{\sigma_1} \\ \frac{X_1(x_2)}{\sigma_2} & \frac{X_2(x_2)}{\sigma_2} & \dots & \frac{X_m(x_2)}{\sigma_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{X_1(x_m)}{\sigma_m} & \frac{X_2(x_m)}{\sigma_m} & \dots & \frac{X_m(x_m)}{\sigma_m} \end{pmatrix}$$

jadi dalam bentuk matrix, persamaan (II.4) ditulis sebagai

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{A}) \cdot \mathbf{a} = \mathbf{A}^T \mathbf{b} \quad (\text{II. 6})$$

Matrix invers $C_{jk} = [a_{jk}]^{-1}$ berelasi dengan ketidakpastian dalam estimasi parameter \mathbf{a} . Untuk mengestimasi ketidakpastian ini, persamaan (II.5) diurai menjadi

$$a_j = \sum_{k=0}^m [a_{jk}]^{-1} \beta_k = \sum_{k=0}^m C_{jk} \left[\sum_{i=0}^n y_i \frac{X_k(x_i)}{\sigma_i} \right] \quad (\text{II. 7})$$

dan standar deviasi yang bersesuaian untuk mengestimasi a_j adalah [4]

$$\sigma_{(a_j)}^2 = \sum_{i=0}^n \sigma_i^2 \left(\frac{\partial a_j}{\partial y_i} \right)^2 \quad (\text{II.8})$$

karena a_{jk} pada persamaan (II.7) independent terhadap y_i maka

$$\frac{\partial a_j}{\partial y_i} = \sum_{k=0}^m C_{jk} \frac{X_{k(x_i)}}{\sigma_i^2} \quad (\text{II.9})$$

substitusi persamaan (II.9) kedalam (II.8) didapat

$$\sigma_{(a_j)}^2 = \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^m C_{jk} C_{jl} \left[\sum_{i=0}^n \frac{X_{k(x_i)} X_{l(x_i)}}{\sigma_i^2} \right] \quad (\text{II.10})$$

Suku dalam tanda kurung adalah $[a]$ yang tidak lain adalah matrix inversi dari C_{jk} sehingga kedua suku ini saling melenyapkan, sehingga

$$\sigma_{(a_j)}^2 = C_{jj} \quad (\text{II.11})$$

II.1.B. Bentuk Non-Linier Least Square

Pada persamaan non-linier, model bergantung pada beberapa parameter yang tidak diketahui a_k , dimana $k = 0, 1, \dots, m$. Bentuk umum persamaan non-linier adalah

$$y = y(x; a_0, a_1, \dots, a_m) \text{ atau } y = y(x; \mathbf{a}) \quad (\text{II.12})$$

pada sistem pemodelan perubahan iklim yang akan dibangun, persamaan (II.12) dikembangkan menjadi beberapa persamaan non-linier sebagai *library* model sistem. Daftar *library* model yang disediakan dapat dilihat pada lampiran A. Fungsi chi-square untuk persamaan non-linier ini adalah

$$\chi^2(\mathbf{a}) = \sum_{i=0}^n \left[\frac{y_i - y(x_i; \mathbf{a})}{\sigma_i} \right]^2 \quad (\text{II.13})$$

Gradient χ^2 yang berhubungan dengan parameter \mathbf{a} diasumsikan bernilai nol pada saat total selisih antara $y_i - y(x_i; \mathbf{a})$ minimum

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial a_k} = -2 \sum_{i=0}^n \frac{[y_i - y(x_i; \mathbf{a})]}{\sigma_i^2} \frac{\partial y(x_i; \mathbf{a})}{\partial a_k} \quad \text{dimana } k = 0, 1, \dots, m \quad (\text{II.14})$$

dengan mendiferensialkannya kembali, didapat

$$\frac{\partial^2 \chi^2}{\partial a_k \partial a_l} = -2 \sum_{i=0}^n \frac{1}{\sigma_i^2} \left[\frac{\partial y(x_i; \mathbf{a})}{\partial a_k} \frac{\partial y(x_i; \mathbf{a})}{\partial a_l} - [y_i - y(x_i; \mathbf{a})] \frac{\partial^2 y(x_i; \mathbf{a})}{\partial a_k \partial a_l} \right] \quad (\text{II.15})$$

Persamaan (II.15) disebut Hessian untuk $\chi^2(\mathbf{a})$ yang apabila ditulis dalam bentuk matrix menjadi [2] :

$$\nabla^2 \chi^2(\mathbf{a}) = 2\mathbf{J}_{(\mathbf{a})}^T \mathbf{J}_{(\mathbf{a})} + \mathbf{Q}_{(\mathbf{a})} \quad (\text{II.16})$$

dimana $\mathbf{J}_{(\mathbf{a})}$ adalah matrix Jacobian

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial y(x_1; \mathbf{a})}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial y(x_1; \mathbf{a})}{\partial a_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial y(x_n; \mathbf{a})}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial y(x_n; \mathbf{a})}{\partial a_n} \end{pmatrix}$$

dan

$$\mathbf{Q}_{(\mathbf{a})} = 2 \sum_{i=0}^n [y_i - y(x_i; \mathbf{a})] \frac{\partial^2 y(x_i; \mathbf{a})}{\partial a_k \partial a_l}$$

Dalam metode Gauss-Newton untuk menyelesaikan permasalahan model non-linier, suku $\mathbf{Q}_{(\mathbf{a})}$ dapat diabaikan karena menganggap $\chi^2(\mathbf{a})$ bernilai kecil untuk mengestimasi nilai optimal dari parameter \mathbf{a} . Namun pendekatan ini menjadi tidak akurat apabila nilai $\chi^2(\mathbf{a})$ besar.

II.1.C. Metode Levenberg-Marquardt

Jika persamaan (II.14) dan (II.15) dibagi 2 dan didefinisikan sebagai [1]:

$$\beta_k \equiv -\frac{1}{2} \frac{\partial \chi^2}{\partial a_k} \quad \text{dan} \quad a_{kl} \equiv \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \chi^2}{\partial a_k \partial a_l}$$

maka keduanya dapat digabungkan membentuk persamaan linier

$$\sum_{k=0}^m a_{kl} \delta a_l = \beta_k \quad (\text{II. 17})$$

atau dalam bentuk matrix ditulis sebagai

$$\mathbf{J}_{(a)}^T \mathbf{J}_{(a)} \Delta \mathbf{a} = -\mathbf{J}_{(a)}^T \mathbf{F}_{(a)} \quad (\text{II. 18})$$

dimana $\mathbf{F}_{(a)} = \begin{bmatrix} y_1 - y(x_1; \mathbf{a}) \\ \sigma_1 \\ \vdots \\ y_n - y(x_n; \mathbf{a}) \\ \sigma_i \end{bmatrix}$

suku sebelah kiri persamaan (II.18) adalah simetrik dan (seperti halnya metode Gauss-Newton) hanya berlaku jika bernilai positif dan tidak singular. Untuk menghindari matrix yang singular, Marquardt menempatkan parameter positif λ pada algoritmanya sehingga hasil yang akan diperoleh dapat dipastikan konvergen.

$$(\mathbf{J}_{(a)}^T \mathbf{J}_{(a)} + \lambda \mathbf{I}) \Delta \mathbf{a} = -\mathbf{J}_{(a)}^T \mathbf{F}_{(a)} \quad (\text{II. 19})$$

persamaan ini dikenal sebagai metode Levenberg-Marquardt. Untuk nilai λ yang sangat besar persamaan (II.19) mendekati

$$\mathbf{J}_{(a)}^T \mathbf{J}_{(a)} + \lambda \mathbf{I} \approx \lambda \mathbf{I} \text{ sehingga } \Delta \mathbf{a} \approx \frac{1}{\lambda} \nabla \chi^2 \quad (\text{II. 20})$$

ini adalah langkah *steepest-descent* yang memberikan algoritma yang lebih sederhana untuk mereduksi gradien χ^2 . Dengan pendekatan ini, algoritma akan berjalan lebih lambat namun dapat menjamin kekonvergenan. Faktanya untuk nilai λ yang sangat kecil, metode Levenberg-Marquardt tak ada bedanya dengan Gauss-Newton yang memberikan kecepatan namun ketidakpastian konvergen.

Salah satu tantangan dalam mengasosiasikan metode ini adalah menentukan nilai optimal untuk λ . Strategi yang umum digunakan adalah memulai memasang suatu nilai awal untuk λ dan kemudian diperkecil (misalnya dibagi dengan kelipatan 2) untuk setiap iterasi. Jika langkah ini mereduksi nilai χ^2 maka iterasi diteruskan. Namun apabila langkah ini tidak mereduksi χ^2 , perbesar nilai λ (misalnya dikali dengan kelipatan 2) untuk setiap iterasi berikutnya. Proses iterasi ini diteruskan sampai ditemukan nilai χ^2 yang terendah.

II.2. Filter Data dengan Transformasi Fast Fourier

Analisis fourier adalah kakas penting dalam analisis data pada banyak bidang seperti *signal* dan *image processing, filtering, konvolusi*, analisis frekuensi, dan analisis deret spektrum. Gunanya adalah untuk memberikan gambaran sifat keperiodikan data menggunakan kombinasi komponen sinusoidal dengan frekuensi berbeda. Amplitudo dan fasa setiap komponen dalam deret menentukan kontribusi komponen frekuensi relatif terhadap keseluruhan data.

Proses secara fisik dapat digambarkan dalam domain waktu dan domain frekuensi. Domain waktu digambarkan oleh nilai h sebagai fungsi dari waktu t yaitu $h(t)$, sedangkan domain frekuensi digambarkan oleh nilai amplitudo (atau fasa untuk kasus kompleks) sebagai fungsi frekuensi f yaitu $H(f)$ dimana nilai f berkisar $-\infty < f < \infty$. Trasformasi Fourier untuk kedua domain tersebut diberikan oleh

$$\begin{aligned} H(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{2\pi ift} dt \\ h(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} H(f)e^{-2\pi ift} dt \end{aligned} \quad (\text{II. 21})$$

Biasanya t diukur dalam detik dan f dalam putaran per detik atau Herz. Jika h adalah fungsi posisi x (dalam meter), maka H merupakan fungsi inversi panjang gelombang (putaran per meret), dan seterusnya.

Untuk data N sampel (yaitu data yang dicatat selama suatu interval waktu). Persamaan (II.21) dirubah dalam bentuk diskrit

$$H_n \equiv \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{2\pi i kn/N} \quad (\text{II. 22})$$

Jumlah data hasil H_n sama banyaknya dengan h_k , dari persamaan (II.22) dapat dilihat bahwa nilai dari H_1 adalah total dari data h_k . Dalam interval dua pengukuran yang sama, ada nilai frekuensi f_c yang disebut *Nyquist critical frequency*, yang diberikan oleh

$$f_c \equiv \frac{1}{2\Delta} \quad (\text{II. 23})$$

atau sama dengan satu putaran dalam interval dua pengukuran yang sama.

Inversi dari persamaan (II.22) diberikan oleh

$$h_k \equiv \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} H_n e^{-2\pi i k n / N} \quad (\text{II. 24})$$

Jika h_k adalah real, maka persamaan diatas dapat ditulis sebagai jumlah fungsi sinus dan cosinus dengan koefisien real [6] :

$$h_k \equiv \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left[a_n \cos\left(\frac{2\pi i k n}{N}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi i k n}{N}\right) \right] \quad (\text{II. 25})$$

dimana

$$a_n = \text{real}[H_n]$$

$$b_n = -\text{imag}[H_n]$$

$$0 \leq k \leq N - 1$$

II.3. Prosedur Penghalusan Regresi Data Terlokalisasi, Lowess dan Loess

Nama Lowess dan Loess diambil dari bentuk "*locally weighted scatter plot smooth*" karena kedua metode menggunakan pembobotan regresi linier secara lokal untuk menghaluskan data.

Proses penghalusan dikerjakan secara local karena nilai yang akan diperhalus ditentukan oleh tetangga terdekat dalam rentang span. Span didefinisikan sebagai jumlah data tetangga yang diikutsertakan dalam penghalusan suatu data. Proses penghalusan diberikan bobot karena fungsi regresi bobot (*regression weight function*) digunakan untuk data yang berada di dalam span. Fungsi ini bisa didapat dari fungsi robust bobot (*robust weight function*)

$$w_i = \left(1 - \left| \frac{x - x_i}{d(x)} \right|^3 \right)^3 \quad (\text{II. 26})$$

x adalah nilai *predictor* yang diasosiasikan dengan nilai respon yang akan diperhalus, x_i adalah tetangga terdekat dari x yang terdapat pada rentang *span*, dan $d(x)$ adalah jarak

antara x terhadap x_i . Namun fungsi diatas dapat menyebabkan proses menjadi *resistent* terhadap data *outlier*. Data outlier ini dapat menyebabkan nilai smoothing terdistorsi dan tidak dapat menunjukkan sifat sebagian besar data tetangganya. Untuk menyelesaikan masalah ini digunakan fungsi robust bobot yang didesain untuk tidak terpengaruh oleh fraksi kecil data *outlier*.

$$w_i = \begin{cases} (1 - (r_i/6MAD)^2)^2 & \text{jika } |r_i| < 6MAD \\ 0 & \text{jika } |r_i| \geq 6MAD \end{cases} \quad (\text{II.27})$$

dimana r_i adalah residual data ke- i dan MAD adalah *median absolute deviasi* dari residual

$$MAD = \text{median}(|r|)$$

II.4. Pemetaan Data

Prosedur estimasi standar yang digunakan untuk membuat peta kontur adalah *Kriging*. Keunggulan prosedur ini dibandingkan algoritma kontur yang lain adalah penggunaan optimalisasi secara statistik sekaligus menyediakan *error* pengukuran atau ketidakpastian kontur. Kriging menggunakan informasi dari semivariogram untuk menemukan nilai optimal bobot yang akan digunakan dalam estimasi suatu nilai dari lokasi yang tidak diobservasi. Karena semivariogram adalah fungsi dari jarak, nilai bobot berubah berdasarkan letak geografis observasi.

Nilai dari lokasi yang tidak diobservasi dinyatakan dalam rata-rata bobot nilai dari lokasi terobservasi.

$$\hat{Y}_p = \sum W_i Y_i \quad (\text{II.25})$$

Untuk daerah stabil (*stasionary*) atau mengikuti trend tertentu, prosedur Kriging untuk mencari nilai \hat{Y} pada titik p dari tiga titik observasi yang diketahui adalah

$$W_1 Y_{(h_{11})} + W_2 Y_{(h_{12})} + W_3 Y_{(h_{13})} = Y_{(h_{1p})}$$

$$W_1 Y_{(h_{21})} + W_2 Y_{(h_{22})} + W_3 Y_{(h_{23})} = Y_{(h_{2p})}$$

$$W_1 Y_{(h_{31})} + W_2 Y_{(h_{32})} + W_3 Y_{(h_{33})} = Y_{(h_{3p})}$$

Untuk menyelesaikannya harus diketahui bobot W_i terlebih dahulu dengan membentuk matrix yang disisipi pengali-*Lagrange* λ sebagai derajat kebebasan tambahan.

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{1p}) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.26})$$

bentuk Kriging sederhana diatas disebut *Punctual Kriging*. Namun untuk daerah nonstationary, ada dua komponen yang perlu diperhitungkan yaitu kehadiran *Drift* dan *Residual*. Drift adalah rata-rata nilai variabel regional disekitar observasi sedangkan residual adalah perbedaan antara pengukuran sebenarnya terhadap nilai drift. Nilai drift (M) itu sendiri untuk titik p dapat didefinisikan sebagai polynomial orde-1 atau orde-2.

$$M_p = \alpha_1 X_{1i} + \alpha_2 X_{2i}$$

atau

$$M_p = \alpha_1 X_{1i} + \alpha_2 X_{2i} + \alpha_1 X_{1i}^2 + \alpha_1 X_{1i} X_{2i} + \alpha_1 X_{2i}^2 \quad (\text{II.27})$$

disini X_{1i} dan X_{2i} adalah kordinat geografis ke-I terhadap titik kontrol tetangganya. Matrix (II.26) apabila disisipkan dengan komponen drift menjadi

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 & X_{11} & X_{21} \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 & X_{12} & X_{22} \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & \gamma(h_{33}) & 1 & X_{13} & X_{23} \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ X_{11} & X_{12} & X_{13} & 0 & 0 & 0 \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \lambda \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{1p}) \\ 1 \\ X_{1p} \\ X_{2p} \end{bmatrix} \quad (\text{II.28})$$

bentuk Kriging ini disebut *Universal Kriging* [3].

II.5. Perhitungan *error* dan korelasi model

Untuk mengukur seberapa baik model yang dihasilkan dapat merefleksikan data, sedikitnya ada dua parameter yang perlu diperhatikan. Parameter tersebut adalah [6]:

1. Total *error* kuadrat SSE (*Sum of Square due to Error*)

Disebut juga sebagai total kuadrat residu yaitu mengukur total simpangan kuadrat yang terjadi antara model terhadap data sebenarnya.

$$SSE = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (\text{II. 29})$$

Nilai SSE yang mendekati 0 mengidentifikasi bahwa model memiliki elemen *error* kecil dan baik untuk digunakan dalam prediksi. perlu dicatat bahwa persamaan SSE ini tak lain adalah persamaan (II.13) diatas.

2. R-Square

Parameter ini mengukur seberapa sukses model fit (sesuai) terhadap variasi data atau kuadrat korelasi antara data sebenarnya dengan model prediksi. R-Square didefinisikan sebagai rasio antara total regresi kuadrat (*SSR*) terhadap jumlah kuadratnya (*SST*). *SSR* didefinisikan sebagai :

$$SSR = \sum_{i=1}^n w_i (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (\text{II. 30})$$

SST juga disebut total kuadrat terhadap rata-rata data dan didefinisikan sebagai

$$SST = \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \bar{y})^2 \quad (\text{II. 31})$$

dimana $SST = SSR + SSE$. Dari definisi ini, R-Square diekspresikan sebagai

$$RSquare = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (\text{II. 32})$$

R-Square dapat bernilai antara 0-1, apabila R-Square mendekati 1 berarti variasi data dapat didekati secara baik oleh model. Misalnya nilai R-Square adalah 0,8234 berarti model 82,34% fit terhadap data atau model dapat menjelaskan variasi data sebesar 82,34%.

Bab III. Model Kebutuhan dan Analisis

III.1. Deskripsi Masalah dan Konsep Penyelesaian

III.1.A. Proses Pengolahan dan Pemodelan Data Iklim Indonesia Saat Ini

Ada dua cara analisis yang dipakai untuk mengetahui sifat dan perilaku cuaca, yakni analisis sinoptik dan analisis klimatologi. Analisis sinoptik menggunakan dasar hukum-hukum fisika dan dinamika, dilakukan untuk mengetahui sifat cuaca pada suatu saat dan terus menerus. Sedangkan analisis klimatologi adalah analisis yang menggunakan metode statistik, dilakukan untuk mengetahui sifat kebiasaan cuaca dalam kurun waktu yang panjang [11].

Semula iklim dipelajari dengan membeda-bedakan nilai unsurnya yang berkaitan dengan sifat fisis dan dinamika atmosfer. Dari sifat-sifat tersebut kemudian dibuat klasifikasi yang dikenal dengan nama klasifikasi iklim. Di Indonesia, iklim dipelajari lebih banyak dari sifat yang berkaitan dengan curah hujan.

Dari analisis klimatologi, dihasilkan pola klimatik, bentuknya berupa tabel, grafik atau peta yang dapat menunjukkan sifat sebaran mengikuti ruang dan waktu atau korelasi beberapa unsur. Namun demikian, berbeda dengan analisis sinoptik yang digunakan untuk mengenali cuaca pada saat itu juga, analisis klimatologi dimaksudkan untuk mengetahui kebiasaan atau ciri cuaca yang terjadi pada suatu wilayah tertentu. Ciri dasar dinyatakan dengan nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, nilai keseringan. Selanjutnya dikembangkan menjadi berbagai macam analisis yang menghasilkan nilai-nilai untuk menyatakan ciri cuaca. Untuk menganalisis digunakan metode statistik. Dalam klimatologi, statistik dibedakan menjadi dua, yakni statistik teknik dan statistik teori. Statistik teknik adalah metode perhitungan yang diterapkan bagi data yang ada, misalnya perhitungan rata-rata, frekuensi, dan korelasi. Statistik teori adalah perhitungan-perhitungan berdasarkan teori, antara lain cara pengambilan sampel, penaksiran, hepotesa pengujian.

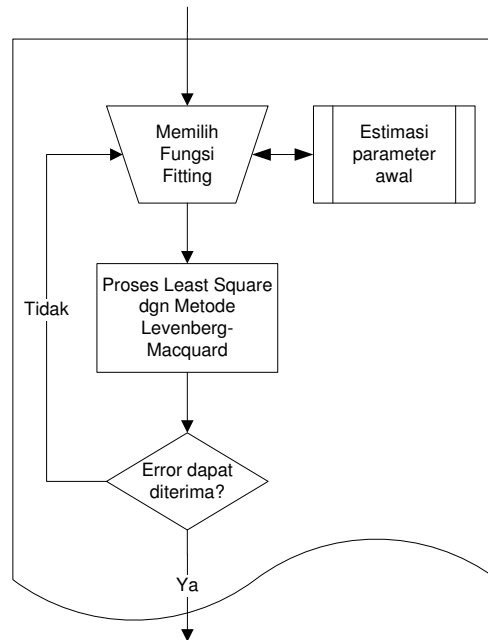
III.1.B. Permasalahan Yang Muncul Pada Proses Saat Ini

Tujuan pembuatan model suatu sistem pada dasarnya adalah mempelajari sifat sistem tersebut. Dengan mengetahui sifatnya, perilaku sistem di masa mendatang dapat diprediksi, misalnya prediksi curah hujan. Analisis klimatologi yang digunakan saat ini menggunakan model linier/polinomial. Faktanya, tidak ada satupun sistem di dunia ini yang bersifat linier, apalagi bahwa sistem yang dianalisis adalah iklim. Untuk rentang waktu yang pendek, model linier mungkin dapat memenuhi sifat data iklim dengan *error* yang cukup kecil, namun gagal untuk rentang waktu yang panjang. Untuk menganalisis perubahan iklim, rentang waktu yang dibutuhkan sangatlah panjang agar pelacakan perubahan dari periode tahun ketahun berikutnya dapat dianalisis. Kegagalan model linier kembali muncul apabila digunakan untuk menganalisis perubahan data yang sifatnya sementara, misalnya perubahan curah hujan yang diakibatkan munculnya gejala El-Nino / La-Nina.

III.1.C. Konsep Penyelesaian Masalah dan Prosedur Pemodelan Perubahan Iklim yang Direncanakan

Dalam tesis ini, proses pemodelan dilakukan dengan analisis klimatologi. Pemodelan sendiri bertujuan untuk mengetahui sifat cuaca dan iklim suatu tempat. Dari sifat ini maka cuaca diwaktu mendatang dapat diprediksi. Untuk mendapatkan model dan prediksi yang baik, ada 4 langkah yang akan diproses yaitu Analisis Model Awal, Analisis Sifat Periodik Anomali, Analisis Model Anomali, dan Pembuatan Kontur Data. Keempatnya dikerjakan secara terurut karena hasil output dari satu tahap adalah input untuk tahap berikutnya.

Langkah Pertama adalah analisis model secara langsung. Tujuannya adalah mencari model awal yang stabil dan stasioner dimana model ini mencerminkan suatu pola data cuaca murni tanpa ada gangguan dan *noise* pada data. Data curah hujan untuk satu lokasi dianalisis dengan *Least Square* untuk menghasilkan kurva fitting yang berseduaian. Fungsi yang digunakan sebagai kurva fitting diambil dari persamaan yang lazim digunakan dalam pemodelan. Algoritma yang digunakan dalam metode Least Square adalah algoritma Levenberg-Maquardt yang merupakan standar algoritma untuk penyelesaian Least Square non-Linier. Gambar III-1 menunjukkan alur kerja untuk langkah ini.

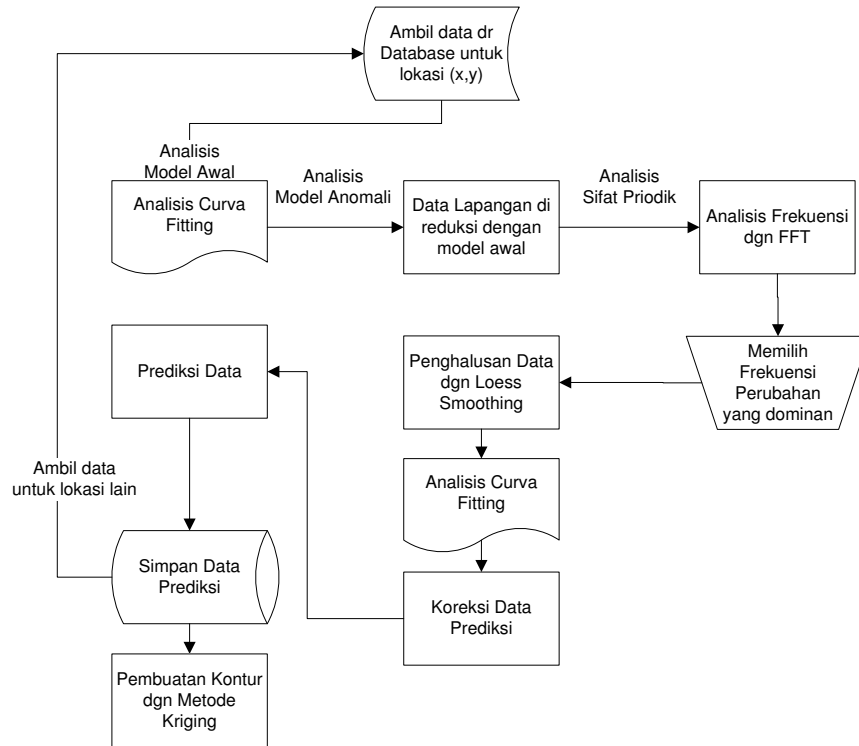


Gambar III-1. Alur kerja dalam proses analisis model, proses terus berulang sampai ditemukan error yang dapat diterima, nilai estimasi parameter awal dapat diambil dari frekuensi dominan yang dihasilkan dari output langkah kedua.

Langkah Kedua adalah analisis sifat periodik data anomali iklim dan cuaca. Tujuannya adalah untuk mendapatkan informasi waktu berulangnya pola anomali cuaca. Langkah ini dilakukan dengan asumsi bahwa pola anomali cuaca bersifat periodik. Data anomali adalah simpangan data cuaca terhadap suatu model cuaca yang dianggap sebagai pola murni untuk daerah yang ditinjau. Model cuaca murni yang dimaksud adalah model awal yang dihasilkan pada langkah pertama. Data anomali mencerminkan noise data cuaca yang terjadi akibat faktor geografis setempat atau faktor luar seperti El-nino, La-nina dan lain-lain. Untuk mendapatkan nilai-nilai frekuensi data anomali, metode yang digunakan adalah *Fast Fourier Transform* diskrit. Metode ini berfungsi mengubah data curah hujan domain waktu (*time series*) menjadi data frekuensi atau perioda curah hujan. Output pada tahap ini adalah frekuensi-frekuensi dominan data curah hujan yang mengidentifikasi kapan suatu pola anomali cuaca akan kembali berulang.

Langkah Ketiga adalah analisis model anomali. Tujuannya untuk mengoreksi model yang telah dihasilkan pada langkah pertama. Prosedur pekerjaannya pun mirip dengan langkah pertama kecuali parameter awal yang digunakan diambil dari frekuensi-

frekuensi dominan dari hasil langkah kedua. Dengan koreksi ini, diharapkan model sudah dapat merefleksikan perubahan pola cuaca yang *non-stasioner*.



Gambar III-2. Rencana alur kerja penelitian

Langkah Keempat adalah pemetaan kontur distribusi curah hujan untuk suatu wilayah dengan metode *Universal Kriging*. Metode universal dipakai karena memberikan keleluasan dalam menentukan fungsi *drift* yang berbentuk polinomial orde n . Fungsi drift ini berfungsi untuk menangani distribusi data curah hujan yang nonstasioner. Dengan kontur yang dihasilkan, penyampaian informasi oleh sistem kepada user lebih baik dan jelas dibanding dengan sekumpulan grafik dan teks. Gambar III-2 menunjukkan alur kerja proses pemodelan perubahan iklim keseluruhan.

III.2. Kebutuhan Perangkat Lunak Pemodelan Perubahan Iklim

Dari pemaparan sub bab III.1.C maka dapat disimpulkan dengan singkat bahwa Sistem Pemodelan Perubahan Iklim yang ingin dibangun harus :

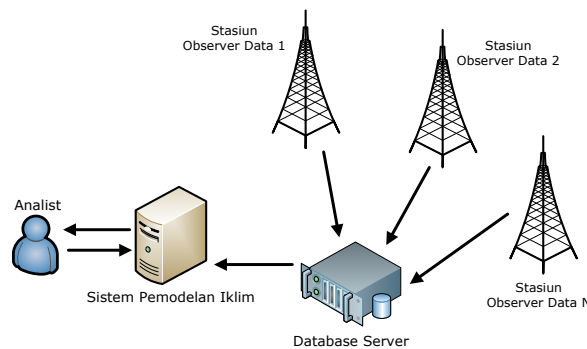
1. Dapat melakukan perhitungan sifat periodik dari data cuaca.

2. Menyediakan *library* model matematika sehingga user dapat memilih model yang paling sesuai dengan *error* yang dapat diterima.
3. Dapat memberikan prediksi perubahan iklim di masa mendatang dan menampilkannya secara visual.

III.2.B. Diskripsi Umum Perangkat Lunak Pemodelan Perubahan Iklim

Perangkat lunak pemodelan perubahan iklim adalah suatu sistem yang dapat melacak perubahan iklim dari tahun ke tahun, memberikan prediksi iklim di masa mendatang. Hasilnya akan ditampilkan baik secara textual maupun secara grafik sehingga user mendapat gambaran rinci tentang perubahan data yang diproses.

Data yang dapat diproses oleh sistem diambil dari beberapa stasiun pemantau cuaca milik BMG. Data yang tersimpan dalam server database diproses menggunakan berbagai metode numerik dalam proses analisis data.



Gambar III-3 *Lingkup kerja sistem pemodelan iklim*

Sistem ini akan dirancang sefleksibel mungkin untuk mendukung kegiatan penelitian. User diberikan keleluasaan kontrol dalam memanipulasi data. Dengan keleluasan ini diharapkan user dapat menentukan model terbaik dan menghasilkan prediksi yang tepat.

III.2.C. Fitur Utama Perangkat Lunak Pemodelan Perubahan Iklim

III.2.C.2. *Kebutuhan Fungsional*

Sistem pemodelan perubahan iklim dapat memenuhi kebutuhan fungsional antara lain:

1. Menemukan sifat periodik data-data cuaca.
2. Memodelkan data cuaca dan data anomali cuaca.

3. Menampilkan grafik data, grafik model sekaligus persamaan matematika dan *error* model sehingga dapat memberikan gambaran seberapa bagus model dalam merepresentasikan data.
4. Memberikan data ramalan cuaca untuk suatu daerah baik berupa grafik maupun peta kontur.

III.2.C.3. *Kebutuhan Non Fungsional*

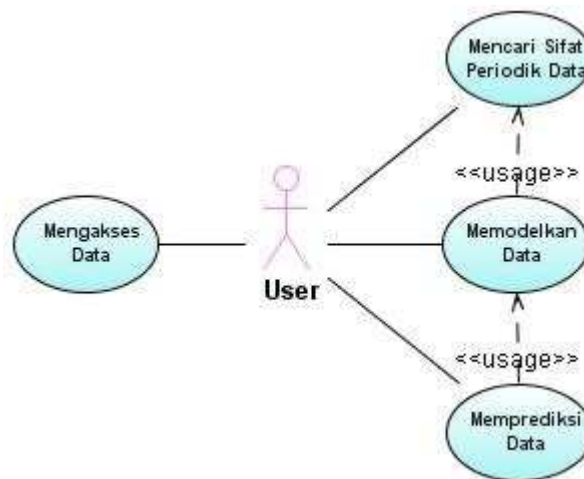
Agar hasil pengolahan sistem pemodelan iklim dapat digunakan sebagai sistem pengambilan keputusan maka diperlukan karakteristik sistem yang bersifat non-fungsional berikut :

1. Mampu memproses perhitungan numerik dengan ketepatan tinggi.
2. Mampu menampilkan kontur distribusi cuaca dengan resolusi tinggi.

III.2.D. Model Use-Case

Use-Case adalah sekumpulan skenario yang saling terhubung untuk menyelesaikan suatu tujuan atau persoalan tertentu. Diagram *Use-Case* adalah bagian utama dari pemodelan berorientasi objek menggunakan UML yang menggambarkan aspek dinamis dari sistem dan memperlihatkan perilaku dari suatu sistem, sub-sistem atau kelas.

III.2.D.4. *Diagram Use-Case Perangkat Lunak Pemodelan Iklim*



Gambar III-4 *Use case diagram sistem perubahan iklim*

Gambar III.4 adalah diagram *use-case* yang dibuat untuk memenuhi kebutuhan sistem yang dijelaskan pada sub-bab III.2.C. Dapat di lihat bahwa sistem terdiri dari empat use

case yaitu (1) mengakses data, (2) mencari sifat periodik data, (3) memodelkan data, dan (4) memprediksi perubahan data. Pada use case (1), data diasumsikan telah tersedia pada server database sehingga user langsung dapat mengaksesnya. Input atau modifikasi data diluar dari ruang lingkup sistem. Terdapat keterhubungan antara usecase (2), (3) dan (4). Ketiganya mempunyai hubungan <<usage>> karena hasil keluaran dari sebuah operasi use case merupakan input untuk use case lainnya.

III.2.D.5. Aktor

Hanya terdapat satu aktor. User adalah seorang pengguna sistem untuk keperluan analisis data dan mempunyai pengetahuan tentang metoda pengolahan data. Hal ini disebabkan karena user dituntut dapat memberikan input seperti memilih persamaan model secara manual (apabila diperlukan) yang bersesuaian dengan sebaran data dan input parameter peubah yang dianggap penting.

III.2.D.6. Skenario Use-Case

Sistem perubahan iklim mempunyai empat buah use case, namun sebagian use case merupakan bagian urutan proses yang harus dijalankan terlebih dahulu untuk memenuhi use case yang lain. Berikut rincian skenario berdasarkan urutan proses kejadiannya.

Tabel III-1 Use case mencari sifat periodik data

Skenario Utama		
Kasus	Aksi Aktor	Reaksi Sistem
1. Membuat koneksi database.	1.1 Memilih zona yang akan dianalisis .	1.2 Data untuk zona terpilih dari database server di load ke sistem dan PlotPanel menampilkan grafik data observasi.
	1.3 Memilih tempat stasiun pemantau cuaca dan menekan tombol "Connect"	1.4 Data untuk stasiun terpilih di load ke sistem dan PlotPanel menampilkan grafik data curah hujan.
Skenario Alternatif		
Kasus	Aksi Aktor	Reaksi Sistem
-	-	-

Tabel III-2 Use case mencari sifat periodik data

Skenario Utama		
Kasus	Aksi Aktor	Reaksi Sistem
1. Analisis frekuensi data cuaca.	1.1 Menekan tombol "Perioda".	1.2 PlotPanel menampilkan grafik daya vs prioda data cuaca serta memberikan nilai-nilai frekuensi dominan.
	1.3 Menekan tombol "Back".	1.4 PlotPanel menampilkan kembali grafik data cuaca.
Skenario Alternatif		
Kasus	Aksi Aktor	Reaksi Sistem
2. Analisis frekuensi data anomali	2.1 Menekan tombol "Anomali"	2.2 PlotPanel menampilkan grafik anomali.
	2.3 Menekan tombol "Perioda"	2.4 PlotPanel menampilkan grafik daya vs perioda data anomali
	2.5 Menekan tombol "Back"	2.6 PlotPanel menampilkan kembali grafik anomali.

Tabel III-3 Skenario use case memodelkan sebaran data

Skenario Utama		
Kasus	Aksi Aktor	Reaksi Sistem
1. Membuat model data cuaca	1.1 Memilih fungsi model	1.2 Form MainGUI menampilkan fungsi model yang terseleksi dan daftar orde yang tersedia.
	1.3 Menentukan orde fungsi model yang terpilih	1.4 Form MainGUI menampilkan orde fungsi model yang terseleksi
	1.5 Menekan tombol Apply	1.6 PlotPanel menampilkan grafik fungsi model dan Form MainGUI memberikan informasi parameter dan <i>error</i> simpangan data-model secara textual
Skenario Alternatif		
Kasus	Aksi Aktor	Reaksi Sistem
2. Membuat model data anomali	2.1 Menekan tombol smoothing	2.2 Data anomali diperhalus.
	2.3 Memilih fungsi model	2.4 Form MainGUI menampilkan fungsi model yang terseleksi dan daftar orde yang tersedia.
	2.5 Menentukan orde fungsi model yang terpilih	2.6 Form MainGUI menampilkan orde fungsi model yang terseleksi
	2.7 Menekan tombol Apply	2.8 PlotPanel menampilkan grafik fungsi model dan Form MainGUI memberikan informasi parameter dan <i>error</i> simpangan data-model secara textual

Tabel III-4 Skenario use case memprediksi perubahan data

Skenario Utama		
Kasus	Aksi Aktor	Reaksi Sistem
1. Prediksi tahap awal data observasi	1.1 Menekan tombol prediksi	1.2 PlotPanel memunculkan grafik prediksi awal data observasi
2. Membuat peta distribusi cuaca	2.1 Menekan tombol "Contour"	2.2 Form ContourPanel muncul
	2.3 Menekan tombol Next	2.4 Form ContourPanel menampilkan Kontur distribusi cuaca satu bulan sesudahnya
	2.5 Menekan tombol Prev	2.6 Form ContourPanel menampilkan Kontur distribusi cuaca satu bulan sebelumnya
Skenario Alternatif		
Kasus	Aksi Aktor	Reaksi Sistem
3. Prediksi tahap akhir (koreksi prediksi)	3.1 Menekan tombol Prediksi	3.2 PlotPanel menampilkan prediksi anomali.
	3.3 Menekan tombol Back	3.4 PlotPanel memunculkan grafik prediksi lengkap dengan koreksi yang telah dilakukan
	3.5 Menekan tombol "Save To Contour"	3.6 Pesan "Penyimpanan data sukses" muncul

III.3. Model Analisis Sistem Perubahan Iklim

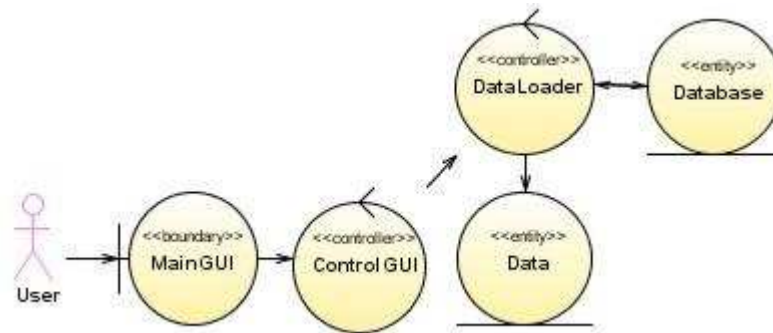
Tahap pertama dalam merealisasikan model yang telah dibangun pada analisis kebutuhan adalah model analisis. Model ini membantu untuk membangun sistem secara *independent* pada lingkungan implementasi sebenarnya. Fokus utama pada tahapan ini adalah struktur logika sistem.

III.3.A. Realisasi Use Case Tahap Analisis

III.3.A.1. Use Case Mengakses Data

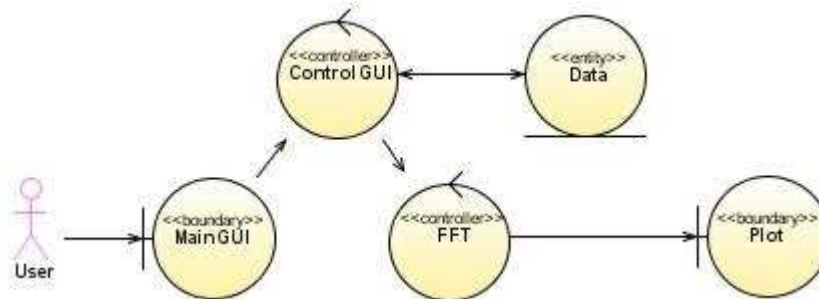
Dalam sistem ini, data diasumsikan telah tersedia didalam database. User hanya perlu mengakses data tersebut dan meletakkannya ke dalam objek Data. Input dan modifikasi data pada database adalah diluar cakupan sistem. Operasi dalam use case ini mengawali semua proses yang akan dilakukan pada use case – use case selanjutnya. User berperan untuk memberi input zona dan lokasi stasiun pemantau cuaca yang menyediakan data

pada MainGUI, input ini kemudian diterjemahkan oleh ControlGUI sebagai akses data ke dalam database. Operasi untuk akses data ini ditangani oleh DataLoader dan hasilnya berupa koleksi data yang disimpan pada entitas Data. Untuk keperluan use case selanjutnya, semua operasi yang membutuhkan data cuaca akan mengakses entitas Data ini. Gambar III-5 menggambarkan diagram kelas tahap analisis untuk use case ini.



Gambar III-5 Model analisis mengakses data

III.3.A.2. Use Case Mencari Sifat Periodik Data

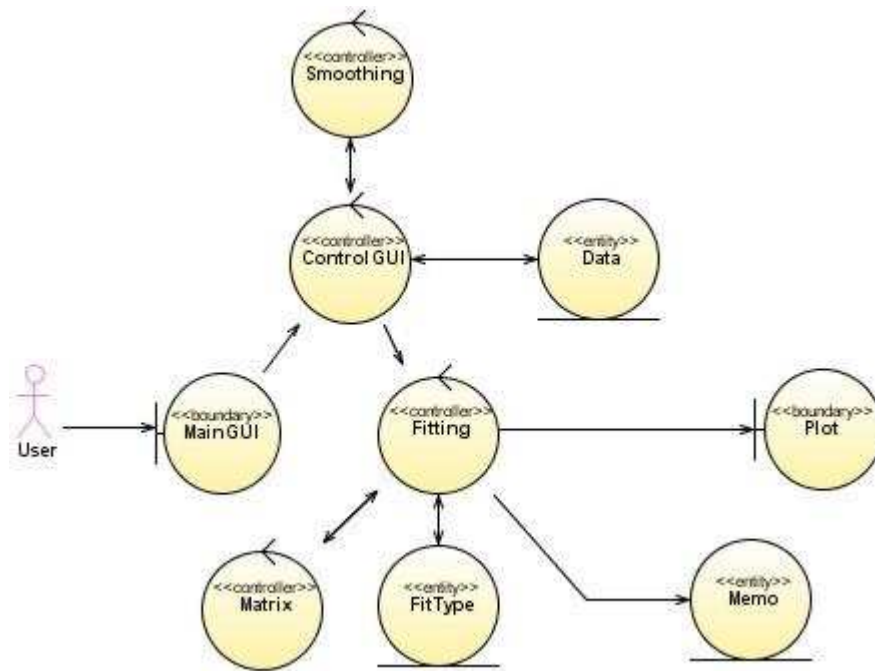


Gambar III-6 Model analisis mencari sifat periodik data

Operasi utama pada use case ini adalah membuat transformasi data waktu menjadi data frekuensi. Antarmuka pengguna (mainGUI) menerima input dari user berupa permintaan untuk melakukan proses mencari sifat periodik data. Input ini diterjemahkan oleh controlGUI dan membuat sebuah objek control FFT untuk melakukan transformasi data, data diambil pada entitas Data dan grafik hasil transformasi ditampilkan melalui antarmuka Plot. Gambar III-6 adalah diagram kelas tahap analisis untuk use case ini.

III.3.A.3. Use Case Memodelkan Data

Operasi utama pada use case ini adalah membuat model matematika untuk data cuaca. Setelah menerjemahkan input dari MainGUI untuk melakukan proses pemodelan, controlGUI kemudian membuat objek kontrol Fitting. Dalam prakteknya, objek kontrol Fitting berulang kali membuat objek kontrol Matrix untuk membantu proses pemodelan. Data dan tipe model yang diperlukan masing-masing disediakan oleh entitas Data dan entitas FitType. Objek Smoothing hanya diperlukan apabila user merasa data terlalu banyak noise dan perlu diperhalus. Hasil pemodelan akan ditampilkan secara grafik melalui antarmuka Plot dan disimpan pada entitas Memo. Gambar III-7 adalah diagram kelas tahap analisis untuk use case ini.

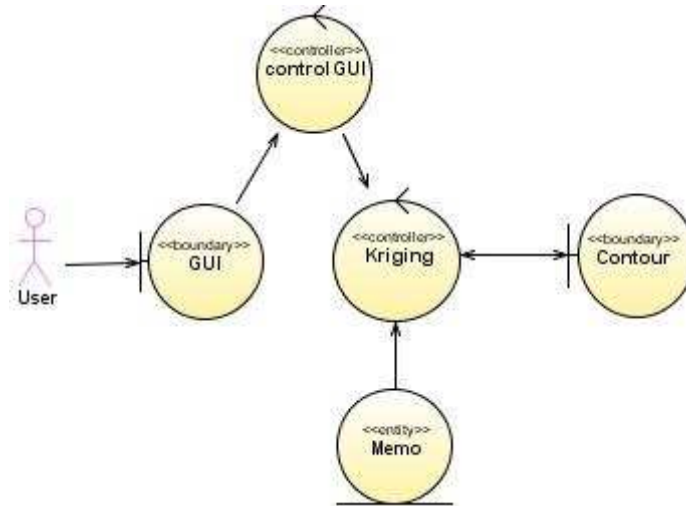


Gambar III-7 Model analisis pemodelan perubahan iklim

III.3.A.4. Use Case Memprediksi Perubahan Data

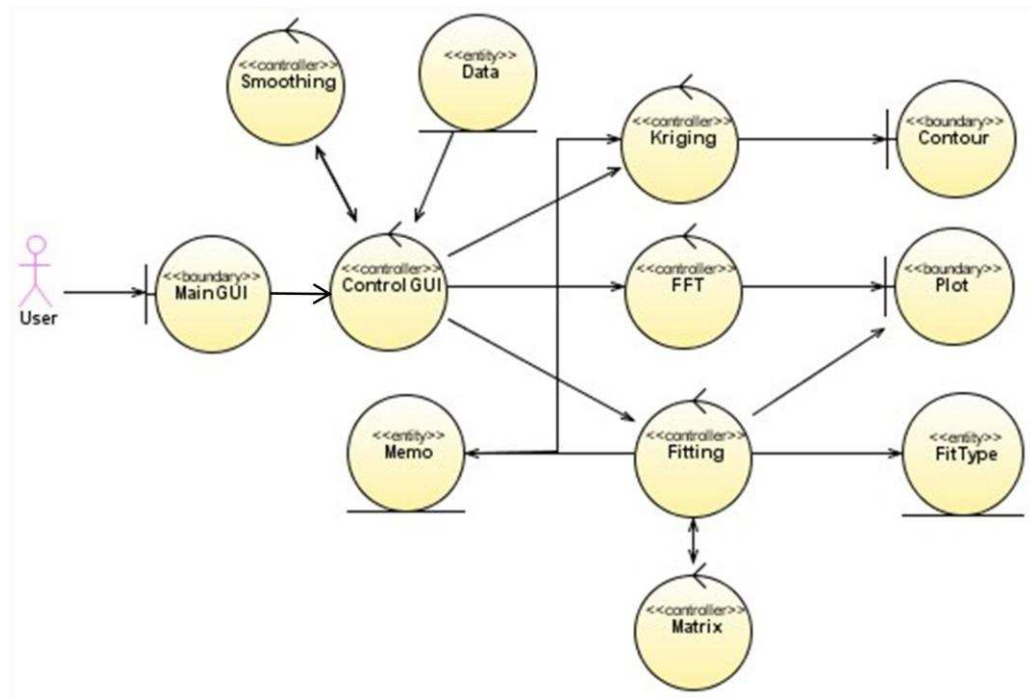
Proses utama pada use case ini adalah membuat kontur 2-dimensi untuk menggambarkan pergerakan perubahan iklim. Antarmuka Contour memberikan input data spasial kepada objek Kriging. Objek Kriging kemudian mengambil data model-model yang tersimpan pada objek Memo. Keluaran dari objek Kriging ini adalah nilai

kontur untuk satu pixel data. Proses ini terus berulang sampai semua pixel pada peta kontur terpenuhi. Gambar III-8 adalah diagram kelas tahap analisis untuk use case ini.



Gambar III-8 Model analisis prediksi perubahan iklim

III.3.B. Diagram Kelas Keseluruhan Tahap Perancangan



Gambar III-9 Model analisis keseluruhan

Gambar III-9 adalah diagram use case keseluruhan tahapan analisis untuk menggambarkan keterhubungan objek satu sama lainnya.

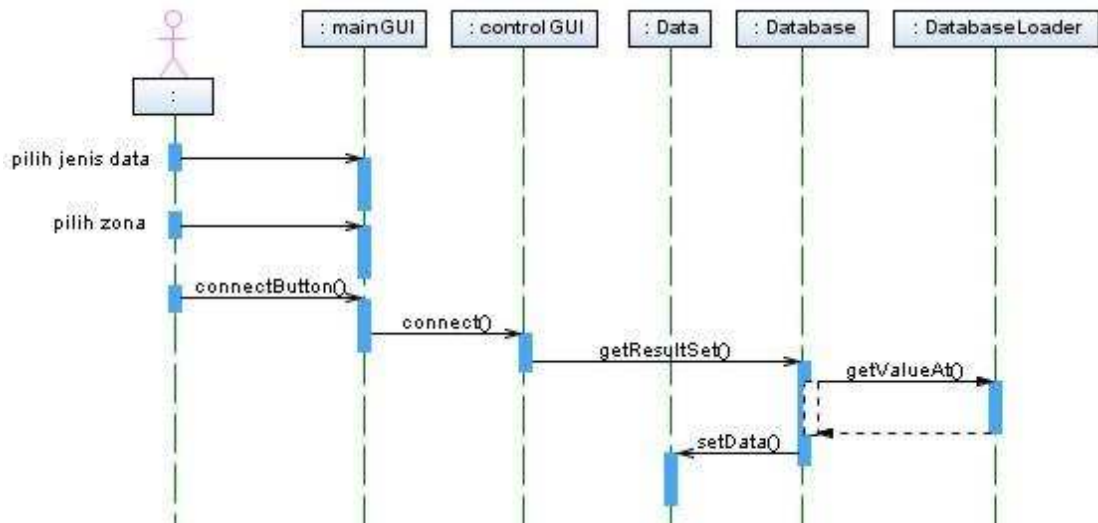
Bab IV. Perancangan Sistem Pemodelan Perubahan Iklim

Pada level perancangan, semua use-case yang ada pada tahap analisis direalisasikan dalam bentuk rancangan sistem berbasis komputer. Rancangan sistem ini dibuat untuk memudahkan implementasi sistem dalam bentuk program komputer.

IV.1. Perancangan Model Sistem Perubahan Iklim

Penggambaran hasil perancangan sistem dilakukan dengan menggunakan jenis diagram interaksi berupa diagram sekuen dan diagram kelas. Dalam diagram sekuen, sebuah objek dinyatakan sebagai suatu kotak yang diletakkan diatas garis putus-putus vertikal yang menunjukkan lama hidup dari objek tersebut dan tanda panah menunjukkan pesan yang dikirim untuk objek lain.

Pada diagram kelas tahap perancangan menggambarkan jenis objek dalam suatu sistem beserta hubungan statik antar objek tersebut, seperti asosiasi dan sub-tipe. Diagram kelas juga menggambarkan atribut dan operasi yang dimiliki oleh kelas tersebut dan juga batasan (*constraints*) yang berlaku pada saat objek berinteraksi.

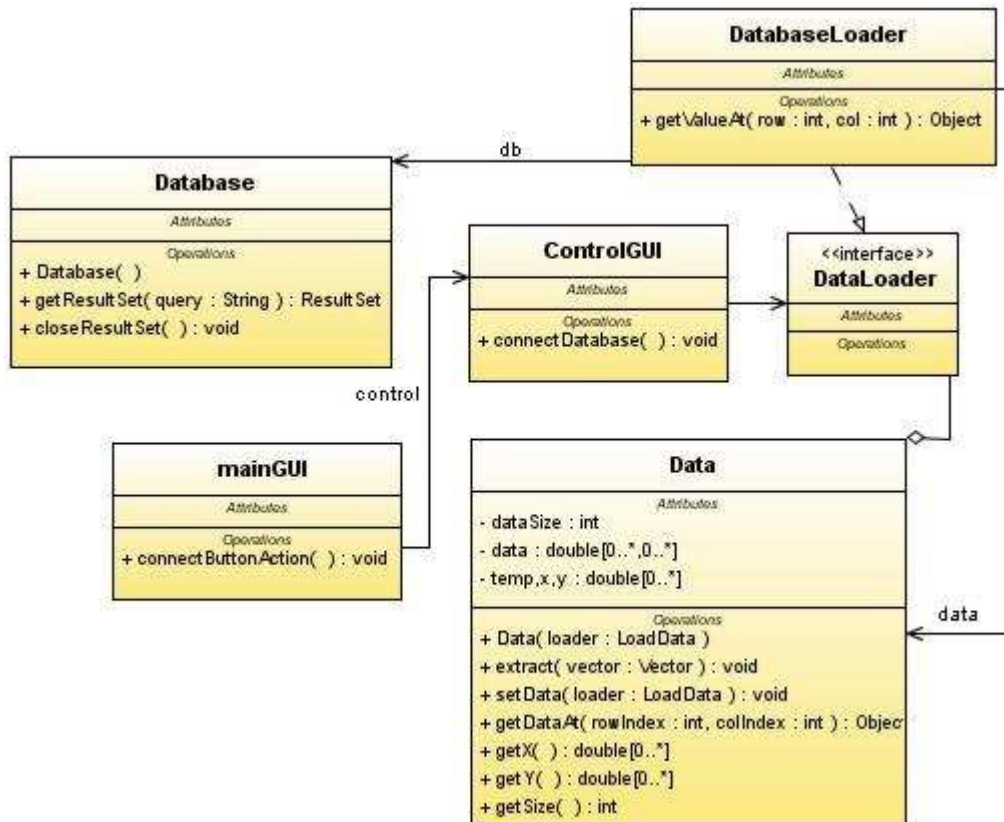


Gambar IV-1 Diagram sekuen mengakses data

IV.1.A. Realisasi Use Case Tahap Perancangan

IV.1.A.1. Use Case Mengakses Data

Untuk keperluan mengakses data dalam server database, terlebih dahulu user harus menginput data zona dan lokasi suatu stasiun pemantau cuaca. Input diberikan user pada MainGUI yang selanjutnya diproses oleh ControlGUI ketika user menekan tombol "Connect".



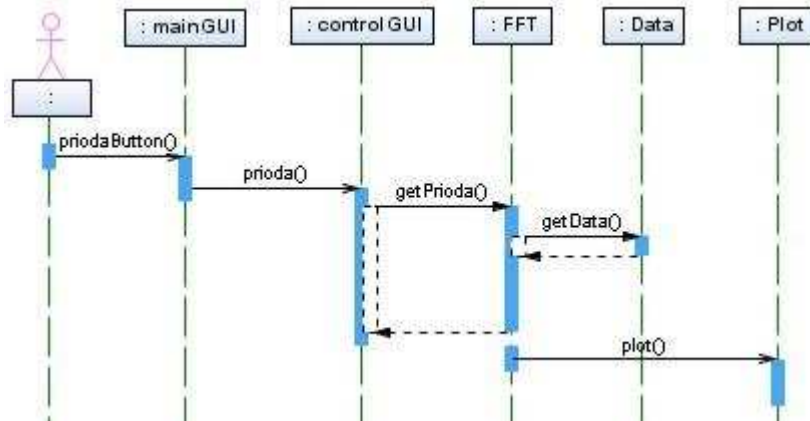
Gambar IV-2 Diagram kelas mengakses data

Akses database ditangani oleh kelas DatabaseLoader yang mengimplementasi interface DataLoader. Output yang diterima adalah koleksi data cuaca yang kemudian diserahkan ke kelas Data untuk disimpan untuk keperluan selanjutnya. Gambar IV-1 dan IV-2 masing-masing menggambarkan sekuen dan kelas diagram untuk use case ini.

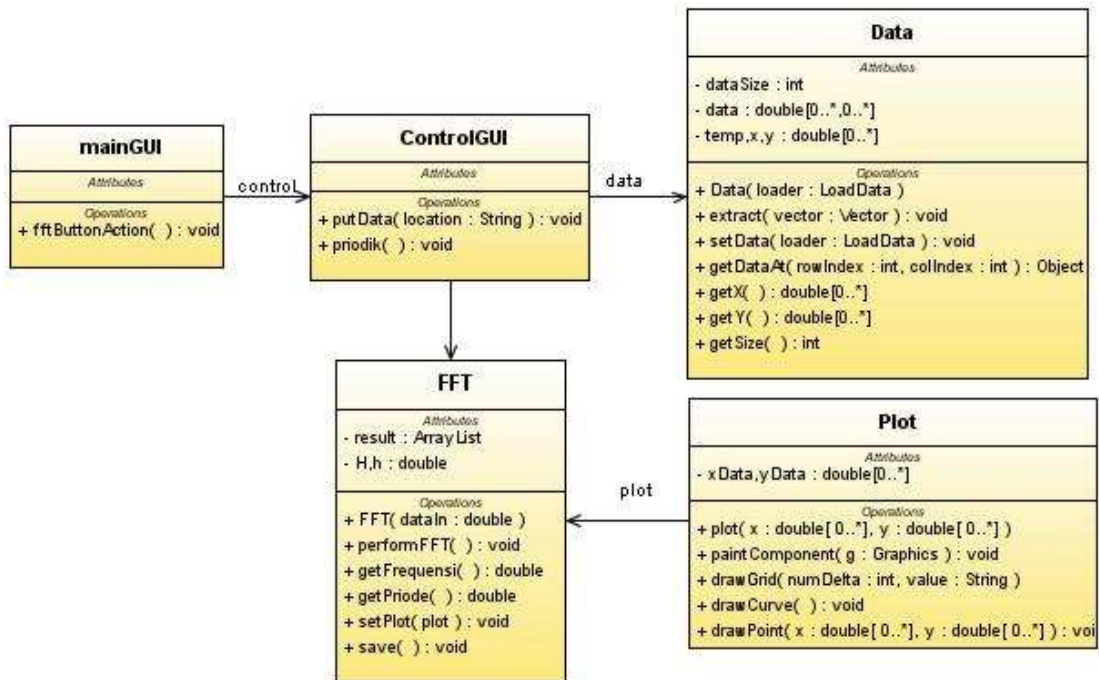
IV.1.A.2. Use Case Mencari Sifat Periodik Data

Pada gambar IV-3 memperlihatkan objek-objek yang terlibat dalam use case mencari sifat periodik data yaitu objek FFT, Data, Memo dan Plot. Objek FFT pertamakali

dibangkitkan saat user menginginkan suatu data dianalisis sifat periodiknya. Objek ini mengambil data $x[*]$ dan $y[*]$ pada objek Data dan melakukan proses transformasi menghasilkan data frekuensi. Keluaran yang dihasilkan kemudian digunakan oleh objek Plot untuk ditampilkan baik secara visual melalui grafik maupun text berupa informasi frekuensi-frekuensi dominan. Berikut diagram sekuen dan diagram kelas tahap perancangan untuk use case ini.

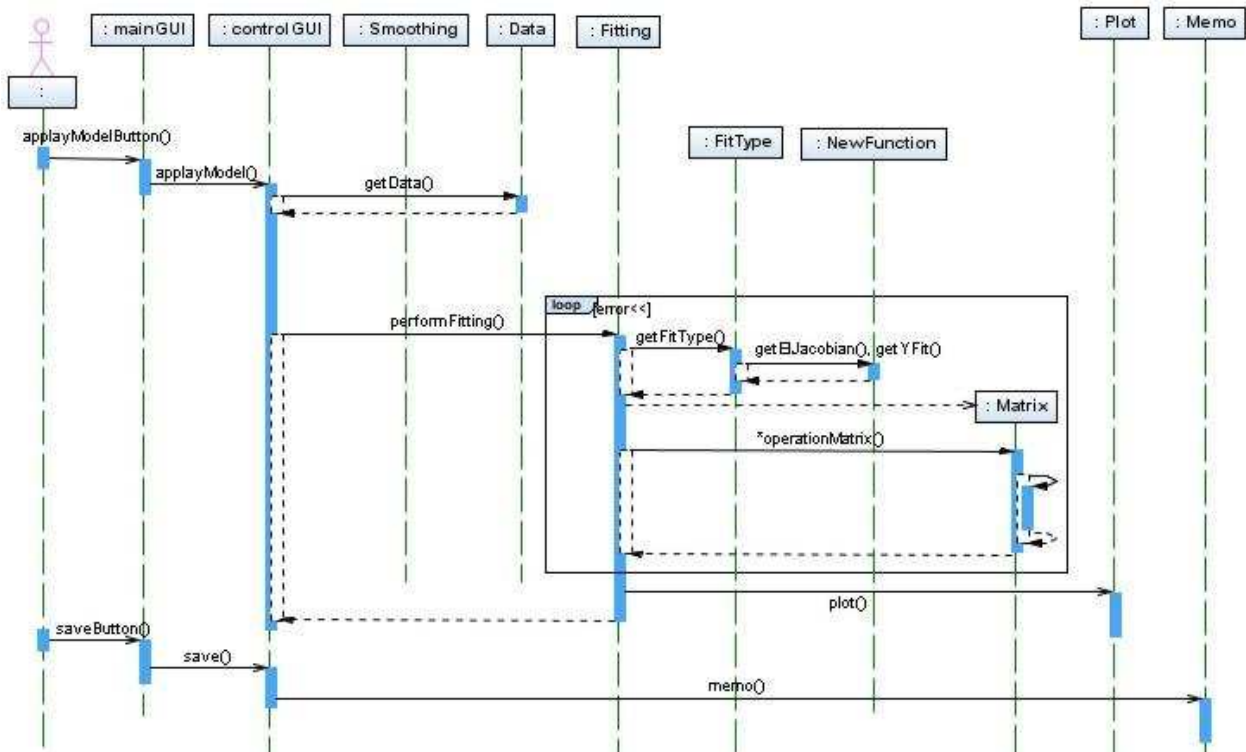


Gambar IV-3 Diagram sekuen mencari sifat periodik data



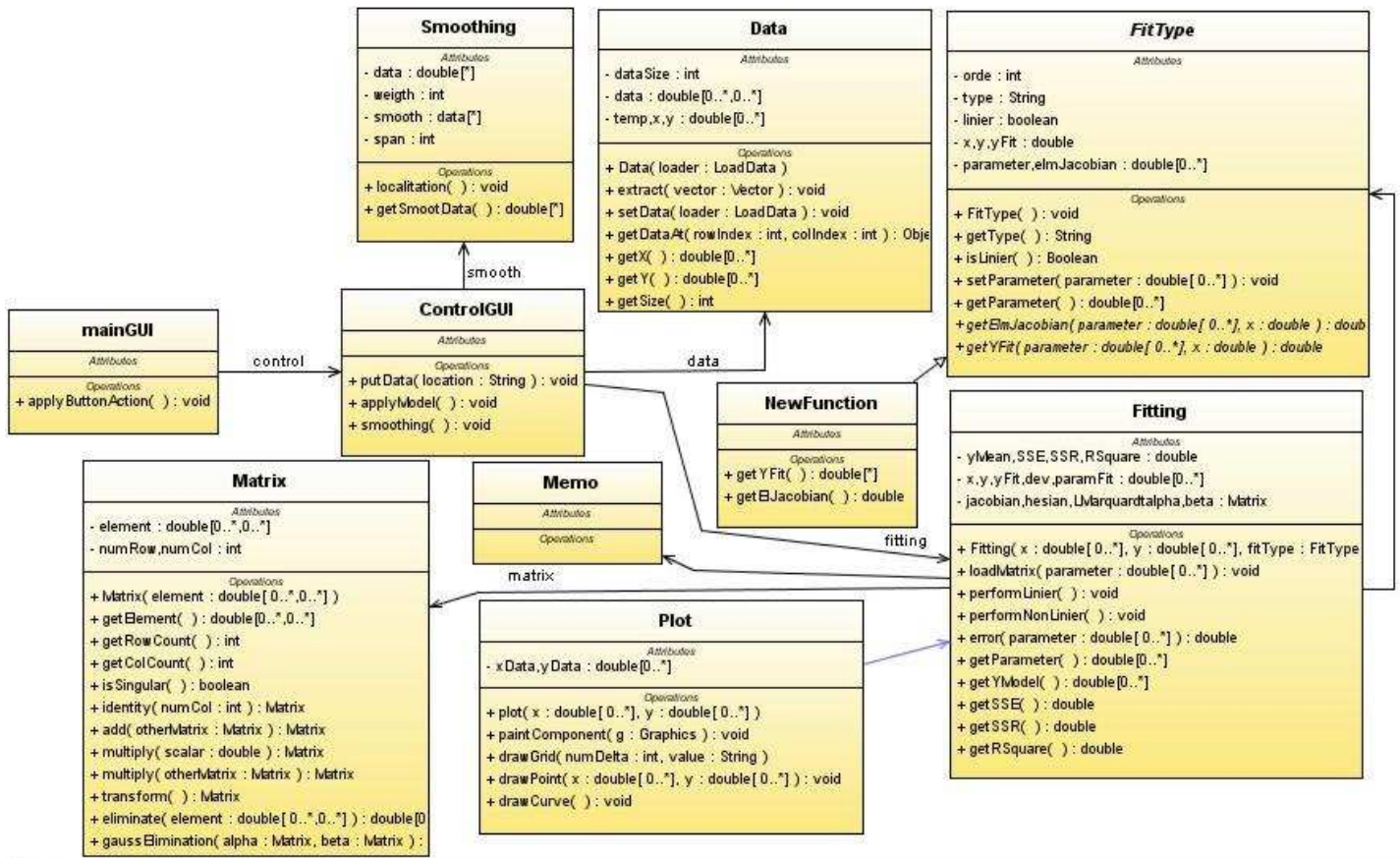
Gambar IV-4 Diagram kelas mencari sifat periodik data

IV.1.A.3. Use Case Memodelkan Data



Gambar IV-5 Diagram sekuen memodelkan data

Dalam memodelkan sebaran data, metode yang digunakan adalah *Least Square* baik *linier* maupun *non-linier*. Diagram sekuen gambar IV-5 merupakan proses interaksi objek yang terlibat pada kedua pemodelan tersebut. Perbedaan perlakuan model linier dan non-linier adalah pada pemodelan linier tidak terjadi pengulangan (*looping*) sedangkan pada pemodelan non-linier *looping* terus dilakukan hingga menemukan *error* yang terkecil. User membentuk objek *FitType* untuk pertama kali, kemudian *dipassing* ke dalam objek *Fitting*. Objek *Fitting* membutuhkan data $x[*]$ dan $y[*]$ yang disediakan objek *Data* dan membangkitkan objek *Matrix* untuk membantu pengolahan data dalam bentuk matrix. Matrix yang dibangkitkan pertama adalah matrix Jacobian dimana elemen-elemennya diproses di dalam objek *FitType*. Matrix ini kemudian dilipatgandakan dan dilakukan perkalian *cross* setelah salah satunya di transformasikan terlebih dahulu. Matrix yang dihasilkan disebut matrix Hessian.



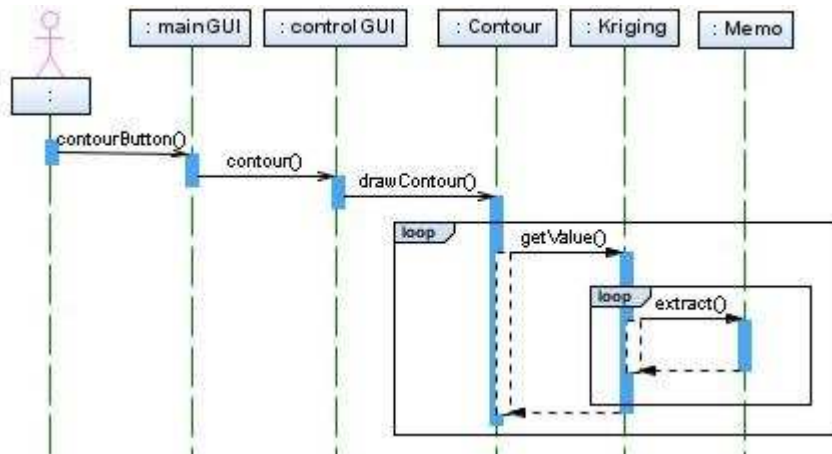
Gambar IV-6 Diagram kelas memodelkan data

Pada pemodelan linier, parameter model yang dicari dapat langsung diperoleh dengan metode Eliminasi Gauss, sedangkan pada model non-linier masih memerlukan algoritma Levenberg-Maquardt untuk menyelesaikannya. Algoritma ini menyisipkan faktor damping pada matrix Hessian. Setelah penyisipan selesai, parameter dengan faktor damping diuji dengan parameter tanpa faktor damping, apabila *error* yang dihasilkan dari parameter dengan faktor damping lebih kecil maka faktor damping diperkecil, dan apabila terjadi sebaliknya, faktor damping diperbesar. *Looping* terus dilakukan hingga *error* yang dihasilkan dari perubahan faktor damping tersebut mencapai nilai yang terkecil.

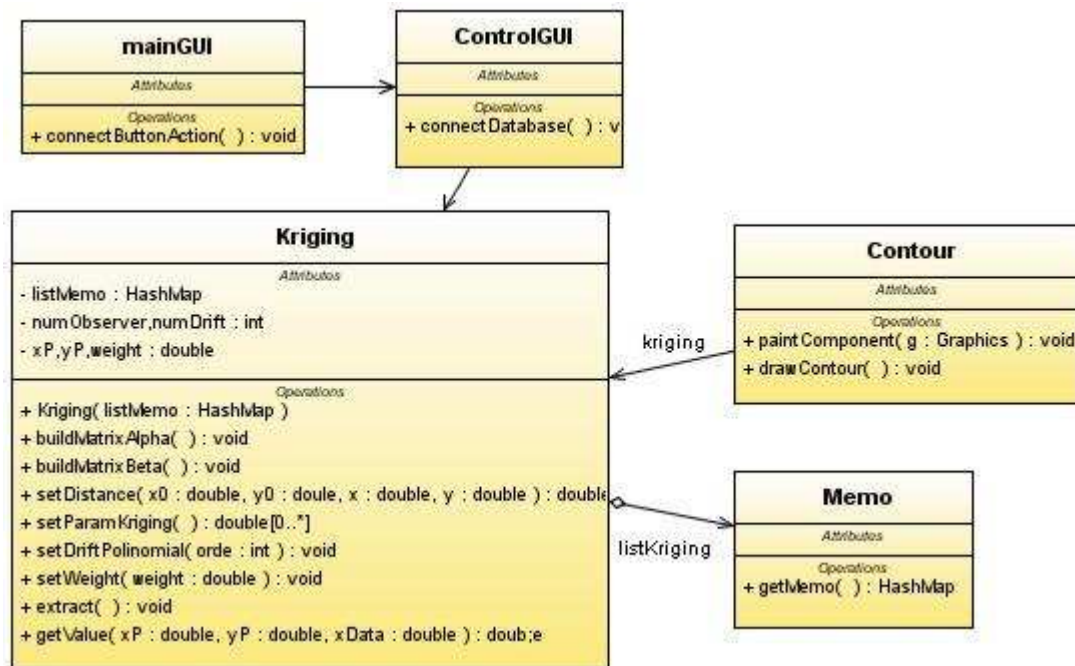
Gambar IV-6 adalah diagram kelas tahap perancangan untuk use case ini. Dalam memilih model least square, kelas Fitting mempunyai komposisi kelas abstrak FitType. Setiap model yang disediakan akan direalisasikan berupa kelas-kelas turunan dari FitType (misalnya kelas NewFunction), kelas turunan ini harus mengimplementasikan

metode `getElmJacobian()` dan `getYFit()`. Kelas `Memo` menyediakan framework koleksi data berupa `HashMap` yang berfungsi menyimpan data objek turunan `FitType` beserta parameternya untuk setiap model yang dipilih oleh user.

IV.1.A.4. Use Case Memprediksi Perubahan Iklim



Gambar IV-7 Diagram sekuen memprediksi perubahan data

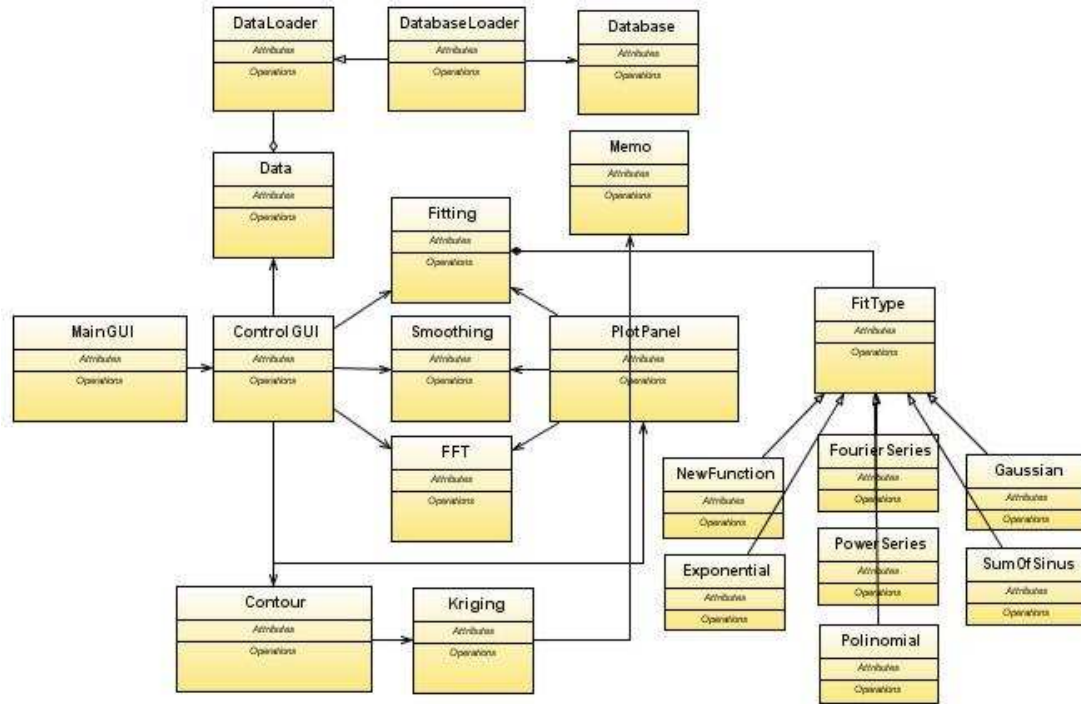


Gambar IV-8 Diagram kelas memprediksi perubahan data

Objek utama dalam realisasi use case ini adalah objek `Kriging`. Hasil keluaran yang ingin dicapai adalah suatu data perubahan yang divisualisasikan lewat kontur dua dimensi.

Proses visualisasi dilakukan pada objek Contour sedang datanya disediakan oleh objek Kriging. Dalam menyediakan data untuk objek Contour, objek Kriging ini mengambil data model untuk setiap titik observasi yang disediakan oleh objek Memo.

IV.1.B. Diagram Kelas Keseluruhan Tahap Perancangan



Gambar IV-9 Diagram kelas keseluruhan

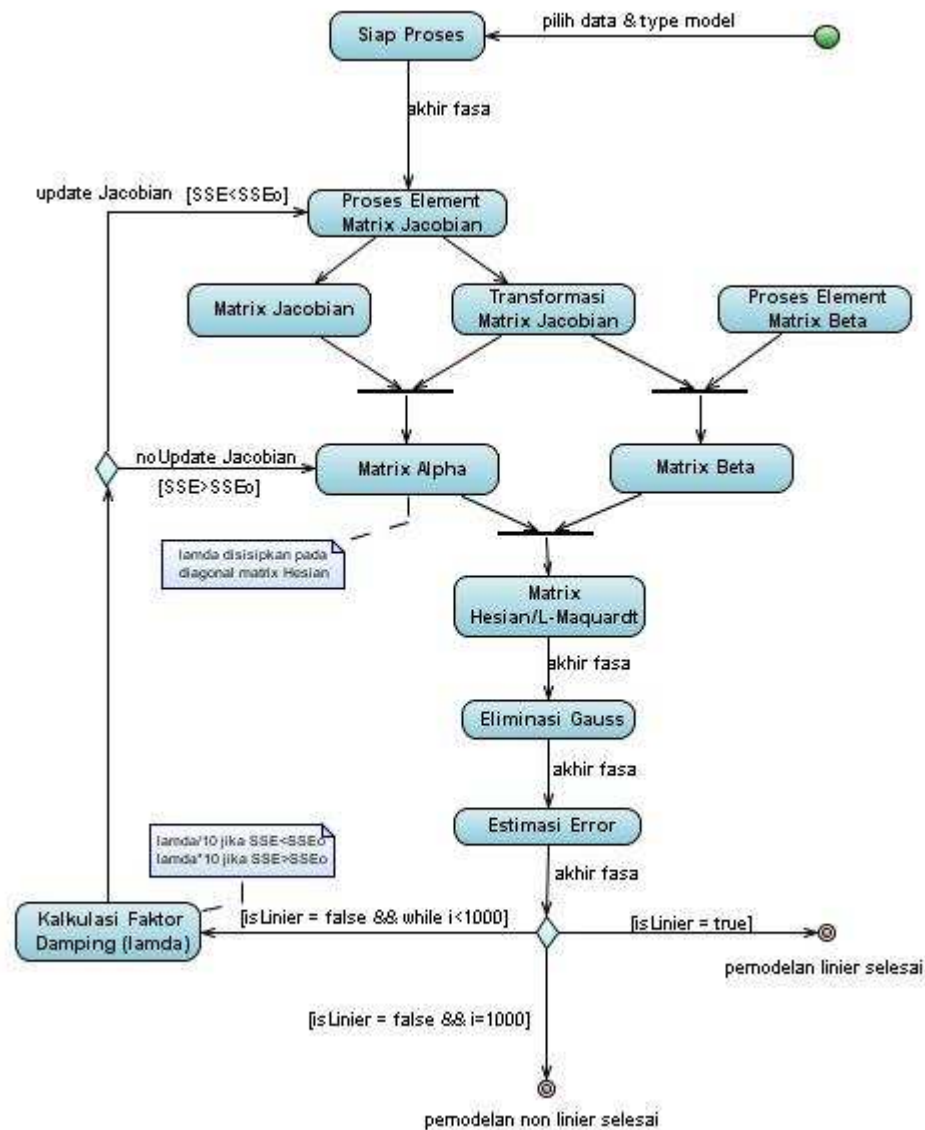
Diagram kelas gambar IV-10 menggambarkan keterkaitan semua kelas utama dalam sistem Perubahan Iklim. Adapun rincian setiap kelas diterangkan pada tabel IV-1.

Tabel IV-1. Rincian kelas

No	Nama Kelas	Jenis	No	Nama Kelas	Jenis
1.	MainGUI	Entity	11.	Smoothing	Entity
2.	ControlGUI	Entity	12.	Kriging	Entity
3.	Data	Entity	13.	PlotPanel	Entity
4.	DataLoader	Interface	14.	Contour	Entity
5.	DatabaseLoader	Entity	15.	Memo	Entity
6.	Database	Entity	16.	Polinomial	Entity
7.	Matrix	Entity	17.	Exponential	Entity

No	Nama Kelas	Jenis	No	Nama Kelas	Jenis
8.	Fitting	Entity	18.	PowerSeries	Entity
9.	Fitype	Entity	19.	SumOfSinus	Entity
10.	FFT	Entity	20.	FourierSeris	Entity
			21.	Gaussian	Entity

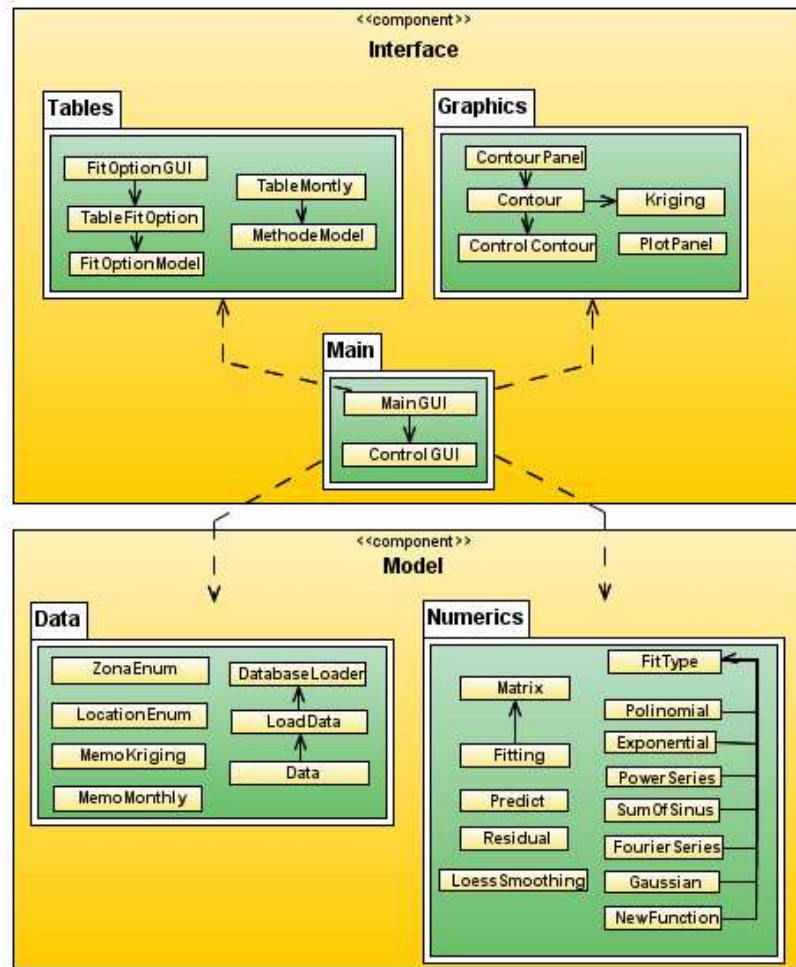
IV.1.C. Diagram State Chart Objek Fitting



Gambar IV-10. Diagram state chat objek Fitting

Diagram StateChart digunakan untuk menggambarkan kehidupan dan perilaku suatu objek dalam suatu kelas tertentu. Karena proses pemodelan dianggap sebagai inti dari tesis ini, maka sub-bab ini kembali menganalisis objek. Untuk menghasilkan sebuah model, objek Fitting membutuhkan beberapa objek lain untuk membantu memproses data terutama objek Matrix. Data pertama kali diambil dari Objek Data, didelegasikan ke Objek FitType untuk diproses dan ditampung oleh Objek Matrix berulang kali. Proses ini terus beriterasi hingga didapat *error* (jumlah simpangan kuadrat antara model dengan data lapangan) terkecil. Untuk jelasnya lihat gambar IV-10.

IV.2. Diagram Komponen Sistem Pemodelan Perubahan Iklim



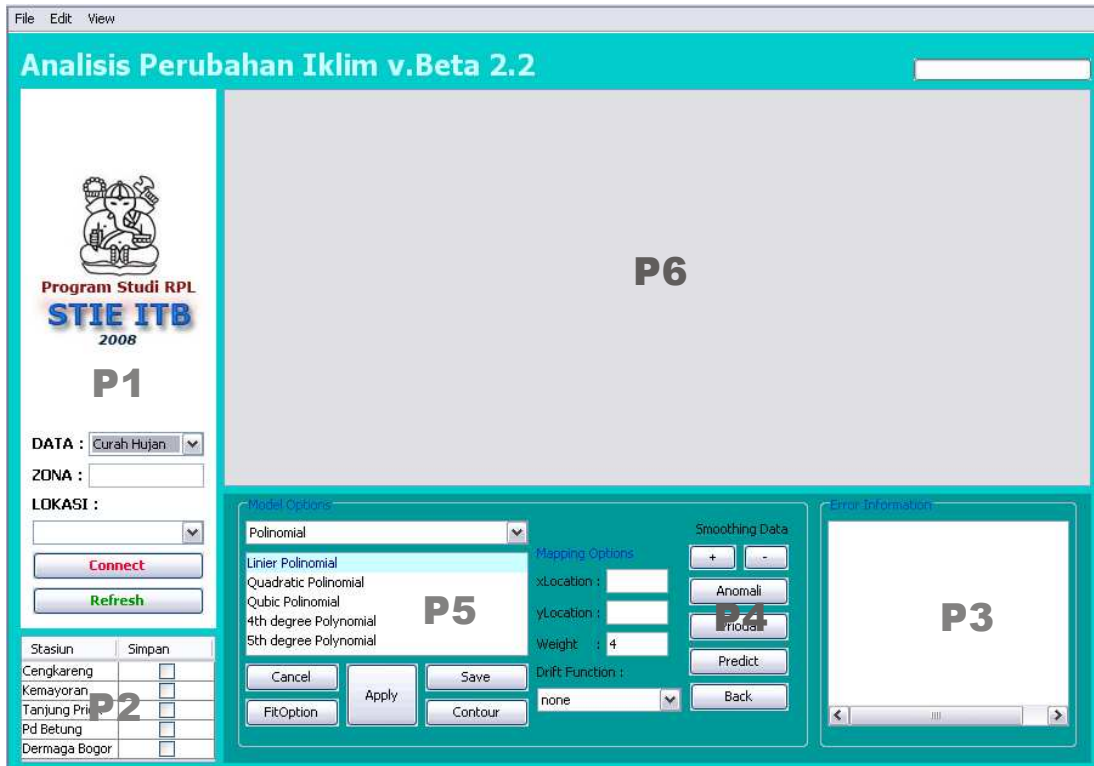
Gambar IV-11 Diagram komponen sistem pemodelan perubahan iklim

Pada gambar IV-11 Sistem Pemodelan Perubahan Iklim dipecah menjadi beberapa paket komponen antara lain :

1. Paket Numerik, berisi kumpulan kelas-kelas yang berfungsi untuk melakukan operasi numerik dan pengolahan model.
2. Paket Data, berisi kelas-kelas yang berfungsi untuk mengakses database, membaca, menyediakan dan menyimpan data untuk proses-proses yang akan dilakukan sistem.
3. Paket Grafis untuk tampilan output baik berupa grafik maupun kontur.
4. Paket tabel untuk pengelolaan semua tabel yang diperlukan dalam sistem, dan terakhir paket antarmuka.

IV.3. Perancangan Antarmuka

Antarmuka Sistem Pemodelan Perubahan Iklim dirancang sefleksibel mungkin untuk memungkinkan user untuk menganalisis secara manual pengolahan data agar menghasilkan model yang optimal. Berikut adalah rancangan kelas-kelas antarmuka tersebut :



Gambar IV-12 Rancangan antarmuka utama

1. Atarmuka MainGUI (Gambar IV-12), ini adalah antarmuka utama dimana user pertama kali berhadapan pada sistem. Fungsinya adalah menyediakan kontrol penuh kepada user untuk menganalisis data.

Antarmuka ini terdiri dari enam panel utama. P1 adalah panel label dan menu pilihan lokasi data yang ingin diolah, dan P2 adalah tabel informasi data yang telah dianalisis dan disimpan dalam sistem untuk diolah lebih lanjut menjadi data spasial. P3 adalah panel kolom informasi tentang hasil analisis, informasi ini diambil dari kegiatan user pada P4 dan P5. P4 adalah panel kontrol untuk pengolahan data untuk mendukung proses pemodelan, dalam panel ini terdapat

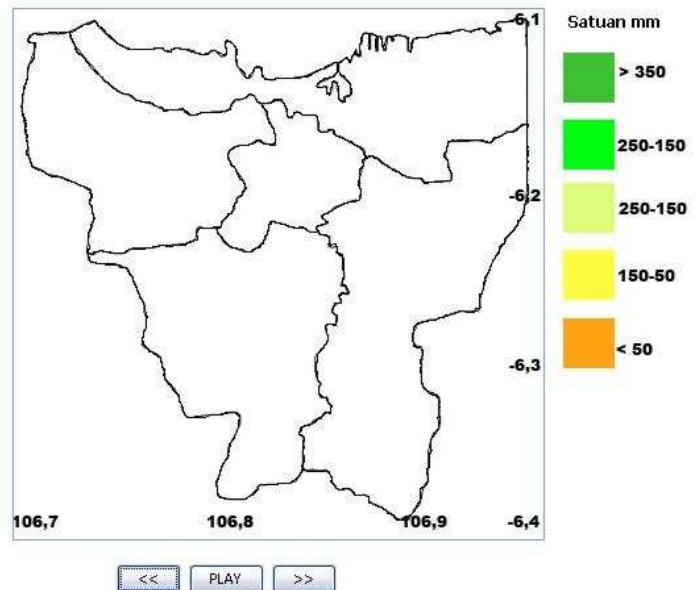
tombol untuk memperhalus data, proses anomali, perioda, dan sebagainya. Pada panel ini juga tersedia kontrol untuk proses pemetaan data spasial seperti input lokasi stasiun pemantau cuaca dan bobot estimasi Kriging. P5 menyediakan kontrol analisis pemodelan yang terdiri dari menu model, menu orde model dan tombol eksekusi. Terakhir adalah P6 yaitu panel untuk visualisasi grafik.



Gambar IV-13 Rancangan antarmuka FitOption

Perkiraan Curah Hujan Bulanan

Untuk Jakarta dan Sekitarnya



Gambar IV-14 Rancangan antarmuka kontur distribusi hujan

2. Antarmuka FitOption (Gambar IV-13) yang berfungsi untuk menerima input parameter awal secara manual apabila user menginginkannya. Parameter awal dibutuhkan dalam proses pemodelan data. Untuk beberapa fungsi yang disediakan oleh *library model*, model yang dihasilkan oleh sistem sangat bergantung pada input parameter awal ini.
3. Antarmuka Peta Kontur Distribusi Hujan (Gambar IV-14). Antarmuka ini akan muncul difase paling terakhir dalam kegiatan pemodelan. Untuk menghasilkan kontur yang akurat, semua model data tiap lokasi harus diinput terlebih dahulu. Semakin banyak lokasi yang menyediakan data, makin akurat pula kontur yang dihasilkan.

Bab V. Implementasi dan Pengujian Sistem Pemodelan Perubahan Iklim

Pada tahap implementasi, semua kelas diimplementasi menggunakan program Java JDK 6 dengan *compiler* IDE NetBean 6.1. Proses implementasi kelas pada Sistem Pemodelan Perubahan Iklim dikerjakan pada lingkungan Operasi Sistem Windows XP SP2. Aplikasi yang dibangun merupakan aplikasi Desktop dimana perangkat lunak Sistem Pemodelan Perubahan Iklim dan server database berada dalam satu PC. Dalam pengujian validasi proses perhitungan numerik yang dilakukan sistem, dibutuhkan perangkat lunak Matlab versi R2007a sebagai pembanding ketepatan hasil keluaran.

V.1. Implementasi Kelas

Kelas yang diimplementasikan dalam Sistem Pemodelan Perubahan Iklim sesuai dengan tabel V-1. Berikut daftar kelas implementasi dan fungsinya masing-masing.

Tabel V-1 Implementasi kelas

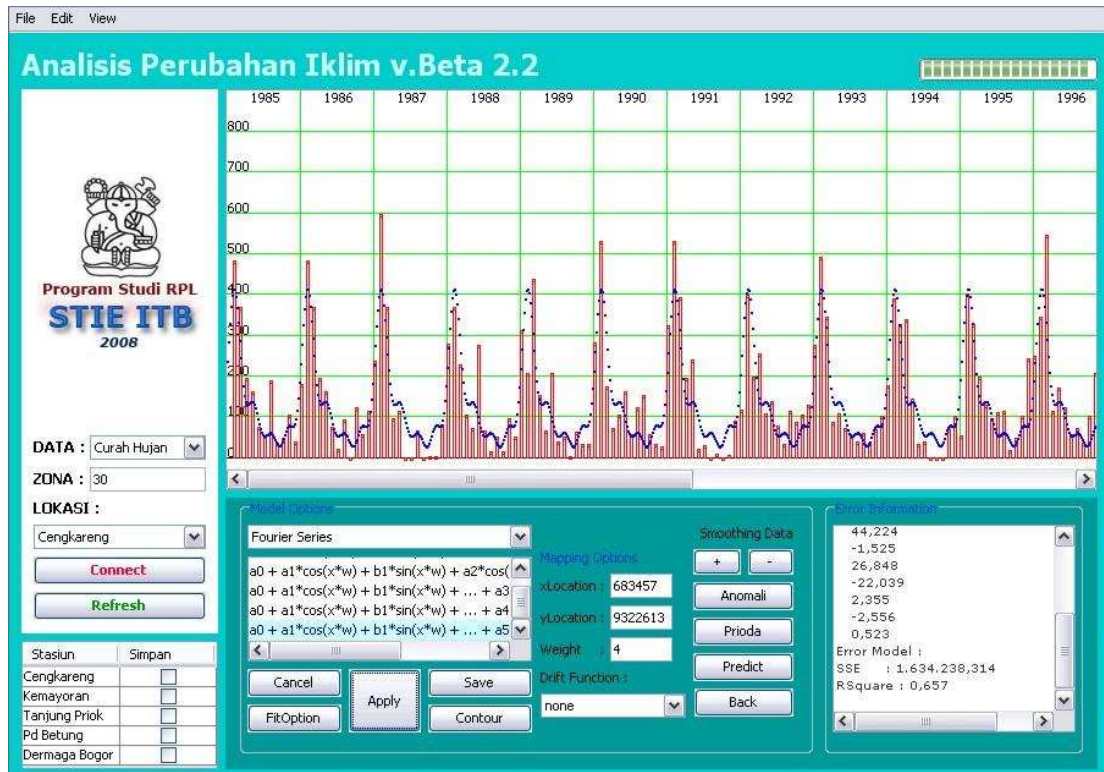
No	Nama Kelas	Keterangan Fungsi
1	MainGUI.java	Berfungsi sebagai form antarmuka utama.
2	ControlGUI.java	Berfungsi sebagai penghubung utama antara antarmuka dengan model. Semua interaksi yang terjadi antara user dengan antarmuka MainGUI.java diterjemahkan di dalam kelas ini.
3	LocationEnum.java	Kelas enumerasi untuk menangani query lokasi sampel pada database
4	ZonaEnum.java	Kelas enumerasi untuk menangani query zona sampel pada database
5	Data.java	Berfungsi untuk menyediakan data untuk berbagai proses pemodelan.
6	LoadData.java	Kelas Interface
7	DatabaseLoader.java	Berfungsi untuk mengakses database untuk diberikan ke objek data.java.
8	MemoKriging.java	Berupa objek penyimpanan sementara informasi yang dibutuhkan untuk proses kriging

No	Nama Kelas	Keterangan Fungsi
9	Predict.java	Untuk memproses data prediksi
10	Anomaly.java	Untuk memproses data anomali
11	Matrix.java	Menangani berbagai macam operasi matrix
12	Fitting.java	Menangani operasi metode Least Square baik linier maupun non-linier
13	FitType.java	Kelas interface objek-objek fungsi fitting
14	Polinomial.java	Objek fungsi fitting
15	Exponential.java	Objek fungsi fitting
16	SumOfSinus.java	Objek fungsi fitting
17	PowerSeries.java	Objek fungsi fitting
18	FourierSeries.java	Objek fungsi fitting
19	Gaussian.java	Objek fungsi fitting
20	NewFunction.java	Objek fungsi fitting
21	LoessSmoothing.java	Untuk proses <i>smoothing</i> data
22	Contour.java	Form untuk menampilkan hasil kontur dari objek Kriging.java
23	PlotPanel.java	Form untuk menampilkan grafik
24	FitOptionGUI.java	Interface setting objek Fitting
25	FitOptionModel.java	Kelas setting objek Fitting

V.2. Implementasi Antar Muka

Jumlah antarmuka yang diimplementasikan pada Sistem Pemodelan Perubahan Iklim sebanyak tiga buah. Antarmuka pertama adalah antarmuka utama (MainGUI) yang muncul pertama kali pada saat user mulai menggunakan sistem ini (Gambar V-1). Seperti yang telah diuraikan pada bab perancangan, terdapat banyak kontrol yang disediakan oleh antarmuka ini, tujuannya adalah untuk memberikan keluasaan (*flexibility*) kepada user dalam mengolah data. PlotPanel yang terdapat pada antarmuka ini mampu menampilkan berbagai grafik secara akurat tergantung aktifitas user pada saat itu. Selain itu terdapat TextArea yang menampilkan informasi secara tekstual tentang model dan *error* yang diperoleh saat user menganalisis data. Informasi apakah

hasil analisis terhadap suatu lokasi telah tersimpan atau tidak ditampilkan pada tabel penyimpanan.



Gambar V-1. Implementasi antarmuka utama

Implementasi Antarmuka kedua adalah tabel FitOption yang berguna untuk memberikan keleluasan kepada user dalam menginput parameter awal secara manual. Antarmuka ini dapat merespon setiap ada perubahan nilai parameter awal yang telah diinput oleh user secara otomatis. Gambar V-2 memperlihatkan implementasi antarmuka tabel FitOption tersebut.

Tabel Fit Option

Institut Teknologi Bandung

Start Point	Value
a[4]	U
a[5]	0
a[6]	0
a[7]	0
a[8]	0
a[9]	0,523

Gambar V-2 Implementasi antarmuka FitOption

Implementasi Antarmuka ketiga adalah Antarmuka Peta Kontur Distribusi Hujan dimana model tiap lokasi Stasiun Penantau Cuaca diinterpolasi menjadi sebuah kontur. Gambar V-3 memperlihatkan salah satu kontur yang berhasil digambarkan oleh sistem. User dapat mengganti kontur tiap bulan menggunakan tombol next atau prev.



Gambar V-3. Implementasi antarmuka kontur distribusi curah hujan

V.3. Pengujian Sistem Pemodelan Perubahan Iklim

Pengujian terhadap sistem pemodelan perubahan iklim dilakukan berdasarkan skenario (*skenario base*) yang direncanakan untuk tiap use case dibab analisis. Selain itu, dalam proses pengujian terdapat beberapa faktor kualitas yang diharapkan dapat terpenuhi sebagai tolak ukur keberhasilan pembangunan suatu perangkat lunak.

Dalam Sistem Pemodelan Perubahan Iklim melibatkan banyak metode statistik dan metode matematika numerik sehingga faktor ketepatan perhitungan (*correctness*) adalah syarat mutlak yang harus dipenuhi oleh sistem ini. Keakuratan dan kemudahan membaca hasil proses diperlukan untuk memberikan informasi yang tepat kepada user, oleh karena itu output berupa teks, grafik, dan peta kontur harus diuji baik segi *Usability* dan *Integrity*-nya. Selain itu faktor lain seperti kemudahan pemeliharaan/pengembangan (*Maintainability*), kemudahan beradaptasi lingkungan lain (*Portability*), dan terbebas dari cacat atau *error* (*Testability*) menjadi hal yang perlu diperhatikan selama masa pengujian ini.

V.4. Teknik Pengujian

Pengujian perangkat lunak untuk Sistem Pemodelan Perubahan Iklim dilakukan dalam dua tahap pengujian, yaitu pengujian performansi metode dan pengujian fungsional. Kedua pengujian ini diuji secara *Black Box*. Pengujian performansi metode diperuntukkan untuk menguji faktor ketepatan (*Correctness*) proses-proses numerik yang dilakukan oleh sistem. Teknik pengujiannya dilakukan dengan cara membandingkan objek-objek numerik pada sistem dengan modul-modul perangkat lunak Matlab yang bersesuaian. Pengujian fungsional diperuntukkan untuk validasi kebutuhan user. Pengujian performansi dilakukan sepanjang pengembangan perangkat lunak sedangkan pengujian fungsional dilakukan setelah semua elemen sistem telah terintegrasi.

V.4.A. Pengujian Performansi Metode

Pengujian ini dilakukan dengan cara validasi untuk setiap objek yang terdapat pada paket Numerics (lihat gambar IV-11) dengan perangkat lunak Matlab R2007a. Alasan memilih perangkat lunak Matlab sebagai perkakas validasi dan kalibrasi untuk sistem yang dibangun yaitu karena Matlab telah menyediakan modul-modul numerik yang

telah dijamin kebenarannya. Pengujian faktor ini dilakukan sepanjang tahap implementasi sistem secara *Black Box*. Untuk mendapatkan nilai ketepatan dalam pengujian ini digunakan persamaan rasio sebagai berikut :

$$\text{Rasio Ketepatan} = \left(\frac{|\text{nilai output Matlab} - \text{nilai output sistem}|}{\text{nilai output Matlab}} \right) \times 100\%$$

dan tabel V-2 berikut adalah daftar hasil pengujian output objek-objek paket Numerics :

Tabel V-2 Hasil uji validasi dengan perangkat lunak Matlab

No	Nama Objek	Nilai Yang Dihasilkan	Rasio rata-rata
1.	Matrix	Nilai operasi matrix seperti perjumlahan, pengurangan, perkalian, inversi, dan eliminasi	100 %
2.	Fitting	Parameter-parameter fungsi fitting (model)	99,75%
3	Loess Smoothing	Data yang telah diperhalus	96%

Rincian hasil uji validasi untuk tiap objek dijabarkan pada Lampiran B.

V.4.B. Pengujian Fungsional

Tujuan pengujian ini untuk menentukan tingkat kesesuaian fungsi yang ada pada sistem dengan seluruh daftar kebutuhan (*requirement*) yang diperlukan oleh user. Prosedur pengujian dilaksanakan berdasarkan skenario use case yang didefinisikan pada tahap analisis. Berikut skenario uji verifikasi perangkat lunak Sistem Pemodelan Perubahan Iklim.

Tabel V-3. Skenario uji verifikasi

Kasus Uji	Kondisi Awal	No	Prosedur User	Kriteria Hasil	Hasil
1. Membuat koneksi database	Form MainGUI masih dalam kondisi default. Label data, tabel koreksi, dan grafik belum dimunculkan.	1.1	Memilih jenis data (curah hujan / temperatur)	Form MainGUI menampilkan label data yang dianalisis	Baik
		1.2	Memilih zona yang akan dianalisis	Data dari database server di load ke sistem dan PlotPanel menampilkan grafik data observasi	Baik
		1.3	Memilih tempat stasiun observasi	Data dari database server di load ke sistem dan PlotPanel menampilkan grafik data observasi	Baik

Kasus Uji	Kondisi Awal	No	Prosedur User	Kriteria Hasil	Hasil
2. Membuat model data	PlotPanel hanya menampilkan distribusi data. Data telah dimuat ke sistem dan siap diolah.	2.1	Memilih fungsi model	Form MainGUI menampilkan fungsi model yang terseleksi dan daftar orde yang tersedia.	Baik
		2.2	Menentukan orde fungsi model yang terpilih	Form MainGUI menampilkan orde fungsi model yang terseleksi	Baik
		2.3	Menekan tombol Apply	PlotPanel menampilkan grafik fungsi model dan Form MainGUI memberikan informasi parameter dan <i>error</i> simpangan data-model secara textual	Baik
3. Prediksi tahap awal	PlotPanel menampilkan distribusi data dan model yang terpilih.	3	Menekan tombol prediksi	PlotPanel memunculkan grafik prediksi sementara	Baik
4. Analisis anomali data dan koreksi prediksi awal	PlotPanel menampilkan distribusi data, model yang terpilih, dan prediksi.	4.1	Menekan tombol anomali	PlotPanel menampilkan grafik anomali	Baik
		4.2	Menekan tombol prioda	PlotPanel menampilkan grafik daya vs prioda data anomali	Baik
		4.3	Menekan tombol Back	PlotPanel menampilkan kembali grafik anomali.	Baik
		4.4	Memilih fungsi model	Form MainGUI menampilkan fungsi model yang terseleksi dan daftar orde fungsi.	Baik
		4.4	Menentukan orde fungsi model yang terpilih	Form MainGUI menampilkan orde fungsi model yang terseleksi	Baik
		4.5	Menekan tombol Apply	PlotPanel menampilkan grafik fungsi model anomali dan Form MainGUI memberikan informasi parameter dan <i>error</i> simpangan secara textual	Baik
		4.6	Menekan tombol Prediksi	PlotPanel menampilkan prediksi anomali.	Baik

Kasus Uji	Kondisi Awal	No	Prosedur User	Kriteria Hasil	Hasil
5. Prediksi akhir	PlotPanel masih menampilkan data anomali disertai kurva model dan prediksi anomali.	5.1	Menekan tombol Back	PlotPanel memunculkan grafik prediksi lengkap dengan koreksi yang telah dilakukan	Baik
		5.2	Menekan tombol "Save To Contour"	Pesan "Penyimpanan data sukses" muncul	Baik
6. Membuat peta distribusi cuaca		6.1	Menekan tombol "Contour"	Form ContourPanel muncul	Baik
		6.2	Menekan tombol Next	Form ContourPanel menampilkan Kontur distribusi cuaca satu bulan sesudahnya	Baik
		6.3	Menekan tombol Prev	Form ContourPanel menampilkan Kontur distribusi cuaca satu bulan sebelumnya	Baik

Bab VI. Hasil Penelitian & Pembahasan

VI.1. Persiapan Data

Data yang dipersiapkan dalam penelitian ini adalah data curah hujan bulanan untuk daerah DKI Jakarta minimal 20 tahun terakhir. Data curah hujan ini diambil dari stasiun pemantau cuaca milik BMG yang tersebar pada daerah Jakarta dan sekitarnya, gunanya untuk mengkaji karakteristik sifat periodik data di masa lalu. Daftar jumlah data curah hujan tiap lokasi yang diinput dalam sistem terlihat pada tabel VI-1.

Tabel VI-1. Jumlah data bulanan untuk tiap stasiun observasi pemantau cuaca milik BMG

No	Nama Stasiun Observasi	Dari Tahun	Sampai Tahun	Jumlah Data
1.	Cengkareng	1985	2005	252 bln
2.	Kemayoran	1980	2005	312 bln
3.	Tanjung Periok	1973	2005	396 bln
4.	Pd Betung	1977	2005	324 bln
5.	Dermaga Bogor	1985	2005	252 bln

Rincian letak, denah lokasi dan pembagian zona curah hujan untuk setiap stasiun pemantau cuaca dapat dilihat pada Lampiran C.

VI.2. Hasil Penelitian

Semua data pada tiap stasiun pemantau cuaca diproses dengan perlakuan sama. Proses penelitian dilakukan secara bertahap seperti yang telah dijabarkan pada sub-bab III.1.C. Sub - sub bab dibawah ini membahas secara detail hasil keluaran (*output*) tiap tahapan untuk satu stasiun pemantau cuaca yaitu Stasiun Cengkareng, sedangkan stasiun-stasiun lainnya hanya akan diulas dalam bentuk tabel.

VI.2.A. Grafik Curah Hujan dan Model yang Dipilih

Langkah Pertama adalah analisis model secara langsung. Tujuannya adalah mencari model awal yang stabil dan stasioner dimana model ini mencerminkan suatu pola data cuaca murni tanpa ada gangguan variabel luar yang dapat mengakibatkan perubahan

data (*noise*). Data curah hujan untuk satu lokasi dianalisis dengan *Least Square* untuk menghasilkan kurva fitting yang bersesuaian. Fungsi yang digunakan sebagai model kurva fitting pada dasarnya dipilih dari fungsi-fungsi yang telah dipersiapkan oleh *library* sistem, secara *try and error*, hingga akhirnya ditemukan sebuah fungsi yang dapat mencakup keseluruhan data dengan *error* simpangan (*residu*) yang terkecil. Tabel VI-2 adalah daftar fungsi yang dicoba untuk memodelkan data curah hujan stasiun cengkareng beserta *error* simpangan kuadratnya.

Tabel VI-2 Daftar fungsi yang dicoba untuk memodelkan data curah hujan di daerah sekitar Stasiun Cengkareng, orde berwarna merah merupakan orde terkecil yang berhasil memodelkan data dengan baik.

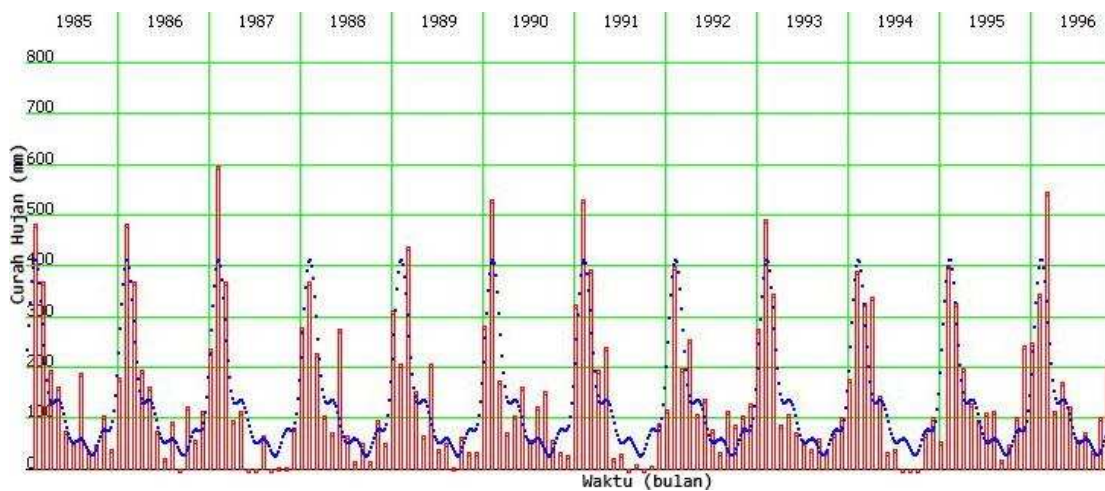
No	Fungsi	Orde	SSE	RSquare
1	Polinomial	1	4743477	0,004
		2	4740400	0,005
2	Exponential	1	4562576	0.005
		2	NAN	NAN
3	Power Series	1	4559423	0.003
		2	4508543	0.012
4	Gaussian	1	4546872	0.004
		2	4525348	0.008
5	Sum of Sinus	1	4545491	0.004
		2	2811360	0.384
		3	2784773	0.390
		4	2372297	0.480
		5	2167543	0.525
10	Fourier	1	2562232	0,462
		2	2036986	0,573
		3	1788358	0,625
		4	1.636769	0,657
		5	1634238	0,657

Percobaan pemodelan pertama kali menggunakan fungsi polinomial orde 1 sebagai fungsi fitting untuk dicocokkan ke sebaran data. *Error* yang dihasilkan sangat tinggi sehingga fungsi ini dianggap gagal dalam memodelkan data. Begitu pula untuk fungsi

Exponential, Power Series dan Gaussian juga menghasilkan *error* yang tinggi untuk orde 1 maupun orde 2. Orde yang lebih tinggi untuk keempat fungsi tersebut tidak perlu dicoba karena tetap hanya akan menghasilkan *error* yang tinggi juga.

Fungsi yang dianggap mampu memodelkan data adalah fungsi Sum of Sinus dan Deret Fourier. Pada tabel VI-2, kedua fungsi ini dicoba untuk orde 1 hingga orde 5, hasilnya menunjukkan bahwa fungsi Deret Fourier mampu memodelkan data dengan *error* simpangan yang paling kecil dibandingkan semua fungsi yang disediakan oleh sistem. Nilai Rsquare untuk tiap orde fungsi Deret Fourier menunjukkan orde 4 adalah orde terkecil yang mampu menghasilkan ketepatan fitting yang baik, orde yang lebih besar dari orde 4 tidak menunjukkan perbaikan *error* yang cukup signifikan. Oleh karena itu, fungsi Deret Fourier orde 4 dipilih sebagai model data curah hujan di daerah Stasiun Cengkareng.

Grafik data curah hujan dan kurva fungsi fitting terpilih dapat dilihat pada gambar VI-1.



Gambar VI-1. (batang merah) Data curah hujan bulanan stasiun pemantau cuaca Cengkareng dan (kurva biru) model terpilih yaitu Deret Fourier orde 4 dengan frekuensi 0.523

Untuk pemodelan curah hujan pada lokasi-lokasi lainnya, cuman fungsi Deret Fourier yang akan digunakan sebagai fungsi fitting karena data curah hujan di semua lokasi mempunyai sifat sebaran data yang hampir sama. Hanya saja sebaran curah hujan untuk daerah Jakarta bagian selatan cukup kompleks sehingga sulit untuk dianalisis sifat periodiknya. Oleh karena itu fungsi Deret Fourier hanya memberikan nilai Rsquare

yang relatif rendah. Tabel VI-3 memberikan daftar fungsi fitting yang terpilih sebagai model terbaik untuk tiap lokasi Stasiun Pemantau Cuaca.

Tabel VI-3 Fungsi fitting terpilih untuk empat lokasi Stasiun berbeda

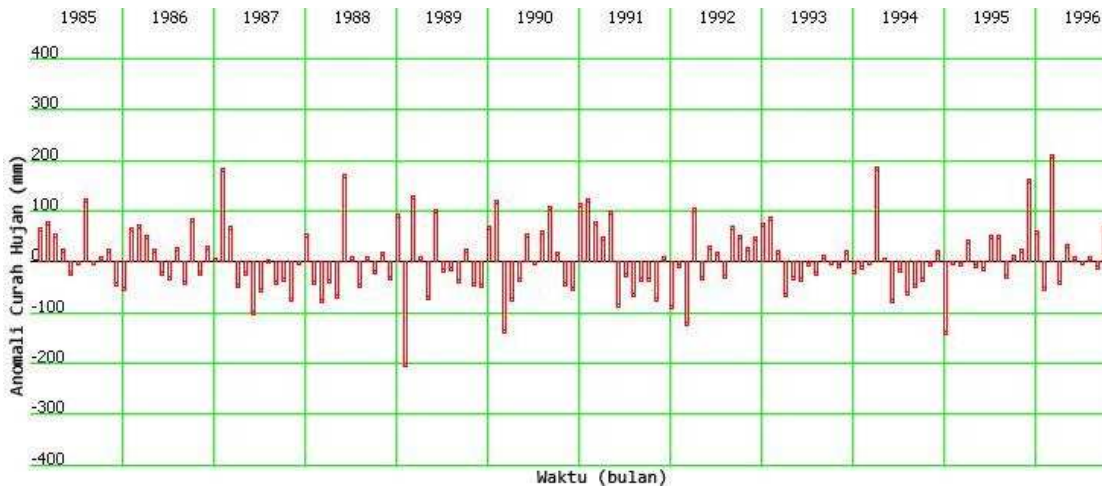
Nama Stasiun	Fungsi Fitting	Orde	RSquare
Cengkareng	Deret Fourier	4	0,657
Kemayoran	Deret Fourier	4	0,515
Tanjung Priok	Deret Fourier	5	0,627
Pd Betung	Deret Fourier	5	0,331
Dermaga Bogor	Deret Fourier	5	0,211

Kesimpulan sementara yang dapat diambil dalam penelitian pemodelan data curah hujan ini adalah bahwa curah hujan dapat bersifat periodik sepanjang tahun dan fungsi Deret Fourier dapat menangani data periodik tersebut. Kurva yang dihasilkan oleh fungsi ini juga dapat merefleksikan pola murni curah hujan tahunan sepanjang pengukuran data yang terjadi. Dengan kata lain, apabila sepanjang tahun cuaca di lokasi tersebut tidak mengalami gangguan dari faktor manapun, maka pola curah hujannya mendekati model di atas.

Dua langkah penelitian selanjutnya bertujuan mengoreksi model sehingga selain dapat merefleksikan pola periodik tahunan, model juga mampu memperlihatkan pola perubahan cuaca baik secara global maupun perubahan tiap tahunnya. Dengan koreksi model nanti, *error* dan korelasi yang dihasilkan saat ini dapat diperbaiki.

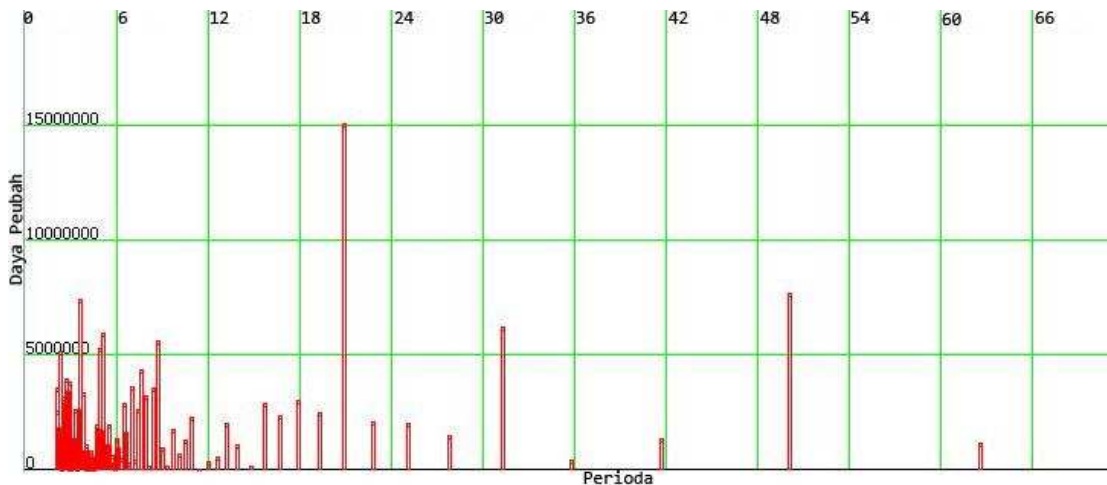
VI.2.B. Analisis Sifat Periodik Anomali Curah Hujan

Penekanan utama dalam penelitian perubahan iklim adalah mempelajari sifat anomali data cuaca. Anomali adalah simpangan data lapangan (data sebenarnya) terhadap pola data murninya. Pola murni yang dimaksud adalah model curah hujan awal yang dihasilkan pada tahap sebelumnya. Data anomali mencerminkan *noise* data cuaca yang terjadi akibat faktor geografis setempat atau faktor luar seperti El-nino, La-nina dan lain-lain. Gambar VI-2 memperlihatkan sebaran data anomali dari Stasiun Cengkareng.



Gambar VI-2. Grafik anomali curah hujan dari Stasiun Cengkareng

Setelah data anomali diperoleh, langkah selanjutnya adalah analisis sifat periodik. Analisis ini melibatkan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) diskrit sehingga prioda atau frekuensi berulangnya suatu pola anomali dapat teridentifikasi. Hasil yang diberikan secara textual oleh sistem pemodelan perubahan iklim adalah lima frekuensi anomali dengan daya peubah terbesar. Gambar VI-3 menunjukkan grafik prioda anomali curah hujan sedangkan daftar frekuensi-frekuensi anomali yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel VI-4 untuk tiap daerah stasiun pemantau cuaca.



Gambar VI-3. Grafik daya peubah vs prioda anomali dari Stasiun Cengkareng

Dari tabel VI-4 dapat dilihat frekuensi anomali 0,032 Hz muncul disemua data Stasiun Pemantau Cuaca (kecuali di Stasiun Tanjung Proik yang sedikit bergeser 0,0009 Hz). Disusul kemudian oleh frekuensi 0,048 Hz. Anomali dengan frekuensi 0,032 Hz (31,25

bulan) diartikan bahwa pola anomali ini akan kembali berulang setiap 31,25 bulan atau 2,6 tahun.. Karena kurangnya penelitian tentang perubahan iklim di Indonesia, hingga saat ini belum bisa dipastikan apa penyebab anomali dengan frekuensi tersebut.

Tabel VI-4 Daftar lima frekuensi anomali dominan untuk tiap daerah Stasiun Pemantau Cuaca, frekuensi berwarna merah menunjukkan frekuensi noise yang dapat hilang dengan penghalusan data pada proses selanjutnya.

Lokasi Stasiun	Frekuensi	Prioda	Daya
Cengkareng	0,048 Hz	20,83 bulan	15.073.367
	0,02 Hz	50 bulan	7.712.441
	0,284 Hz	3,521 bulan	7.419.916
	0,032 Hz	31,25 bulan	7.419.916
	0,2 Hz	5 bulan	5.953.315
Kemayoran	0,048 Hz	20,83 bulan	17.687.172
	0,032 Hz	31,25 bulan	15.127.090
	0,129 Hz	7,75 bulan	12.920.138
	0,319 Hz	3,131 bulan	10.021.762
	0,384 Hz	2,605 bulan	9.994.708
Tanjung Priok	0,033 Hz	30,30 bulan	20.027.038
	0,467 Hz	2,141 bulan	16.699.087
	0,152 Hz	6,567 bulan	15.016.898
	0,096 Hz	10,368 bulan	13.521.664
	0,145 Hz	6,912 bulan	12.678.795
Pd Betung	0,032 Hz	31,25 bulan	22.998.848
	0,046 Hz	21,74 bulan	15.157.750
	0,153 Hz	6,528 bulan	14.645.504
	0,061 Hz	16,39 bulan	14.645.504
	0,341 Hz	2,932 bulan	14.445.601
Dermaga Bogor	0,032 Hz	31,25 bulan	30.564.314
	0,012 Hz	83,33 bulan	20.196.772
	0,376 Hz	2,66 bulan	18.537.034
	0,316 Hz	3,165 bulan	17.985.760
	0,204 Hz	4,902 bulan	16.592.600

VI.2.C. Model Anomali Curah Hujan dan Prediksi Anomali

Langkah ketiga adalah analisis model anomali. Pada awalnya *library* model yang disediakan oleh Sistem Pemodelan Perubahan Iklim hanya menyediakan enam fungsi dasar saja (lampiran A). Namun semua fungsi yang disediakan tidak dapat merefleksikan data anomali keseluruhan dengan baik. Untuk menyelesaikan masalah ini, data anomali terlebih dahulu diperhalus dengan metode *Lowess & Loess Smoothing* untuk mereduksi *noise* data sehingga trend perubahan data anomali dapat muncul. Nilai span yang dipilih adalah 13, nilai ini dianggap cukup baik untuk memberikan menghilangkan noise data cuaca. Tabel VI-5 menunjukkan nilai frekuensi data anomali tiap Stasiun setelah diperhalus. Ada beberapa nilai frekuensi yang hilang setelah proses ini. Frekuensi yang hilang tersebut dianggap sebagai frekuensi noise atau frekuensi lokal sedangkan frekuensi yang tetap bertahan akan diteliti lebih lanjut.

Untuk memodelkan trend perubahan anomali, diperlukan sebuah fungsi yang mampu menangani pergeseran data (*non-stasioner*) namun masih mempertahankan sifat periodiknya. Hal ini dirasa perlu dengan asumsi bahwa trend perubahan anomali sendiri mempunyai sifat periodik tertentu. Berikut fungsi baru yang dibentuk :

$$a_0 + \sum a_i x \sin(iwx) + \sum b_i \cos(iwx) + f(x) \quad (\text{VI.1})$$

Suku 1, 2 dan 3 merupakan penyederhanaan dari deret Fourier kecuali pada suku kedua yang disisipkan variabel x . Variabel x ini bertujuan untuk mengantisipasi perubahan data curah hujan yang semakin ekstrim dan tidak stabil secara lokal tiap periodenya. Suku keempat adalah fungsi yang bertugas memberi menangani perubahan secara global, bentuknya dapat berupa fungsi polinomial maupun eksponensial. Variabel w adalah frekuensi anomali dimana nilainya dipilih dari lima frekuensi paling dominan di atas.

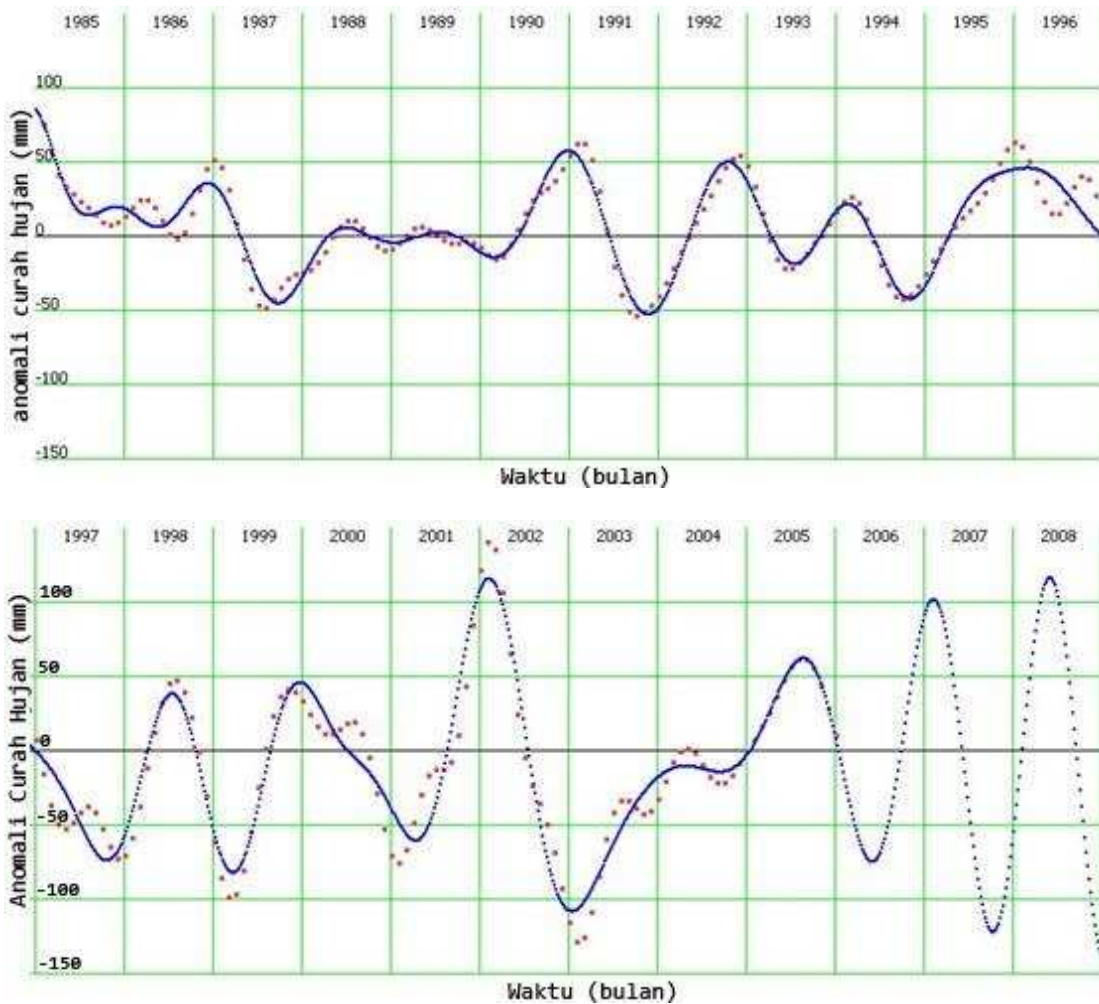
Tabel VI-5 memuat daftar nilai R^2 untuk tiap percobaan frekuensi anomali masing-masing data Stasiun Pemantau Cuaca. Untuk memilih frekuensi mana yang paling baik untuk memproyeksikan data, tidak cukup hanya melihat dari nilai R^2 tertinggi saja namun setiap frekuensi dicoba kestabilannya untuk puluhan tahun kedepan.

Tabel VI-5 Daftar lima frekuensi anomali dominan setelah dilakukan penghalusan data untuk tiap daerah Stasiun Pemantau Cuaca

Lokasi Stasiun	Frekuensi	Rsquare
Cengkareng	0,048 Hz	0,737
	0,02 Hz	0,918
	0,032 Hz	0,724
	0,056 Hz	0,673
	0,064 Hz	0,255
Kemayoran	0,048 Hz	0,593
	0,032 Hz	0,582
	0,061 Hz	0,417
	0,081 Hz	0,206
	0,045 Hz	0,593
Tanjung Priok	0,033 Hz	0,498
	0,061 Hz	0,431
	0,081 Hz	0,252
	0,041 Hz	0,434
	0,069 Hz	0,377
Pd Betung	0,032 Hz	0,643
	0,046 Hz	0,542
	0,061 Hz	0,415
	0,006 Hz	0,579
	0,029 Hz	0,642
Dermaga Bogor	0,032 Hz	0,872
	0,012 Hz	0,889
	0,036 Hz	0,878
	0,048 Hz	0,721
	0,064 Hz	0,630

Dari percobaan *try & error*, maka frekuensi yang dipilih untuk nilai variabel w adalah 0,032Hz, nilai frekuensi ini cukup dominan di semua daerah yang ditinjau, kestabilannya juga cukup memuaskan untuk memberikan prediksi anomali jangka panjang. Gambar VI-4, memperlihatkan trend perubahan anomali dari tahun 1985 hingga 2008. Pergerakan trend mulai tidak stabil dari tahun 1990 dan makin

meningkat mulai tahun 1998. Dari model anomali, trend perubahan anomali mulai tahun 2006 diprediksikan menjadi lebih ekstrim lagi.



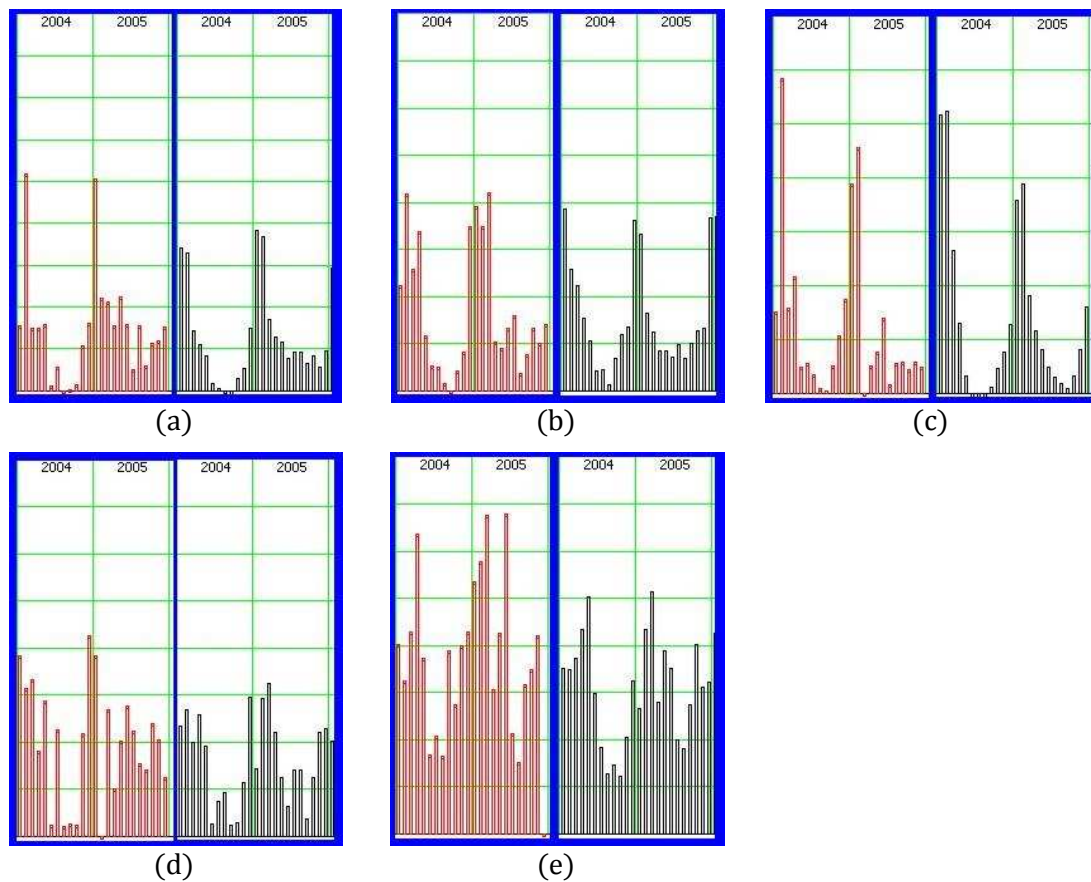
Gambar VI-4. Trend perubahan anomali, titik-titik merah adalah data anomali yang diperhalus dengan span 13, kurva biru adalah model anomali dari persamaan III.1 dengan frekuensi $w = 0.02$ Hz. Grafik atas merupakan trend perubahan anomali tahun 1985-1996. Grafik bawah adalah trend tahun 1997-2005 diteruskan oleh prediksi anomali untuk tahun 2006-2008.

VI.2.D. Prediksi Curah Hujan

Data prediksi dihasilkan dari perpaduan antara model anomali dengan model awal yang relatif stabil dari langkah pertama. Keunggulan memadukan kedua model ini antara lain adalah prediksi dengan tingkat *error* yang lebih rendah, gambaran perubahan pola

curah hujan tahunan yang lebih baik dan mampu memberikan perubahan global data. Untuk menguji ketepatan prediksi yang dihasilkan oleh sistem untuk setiap lokasi, data yang diproses diambil dari tahun 1985-2003 sehingga menyisakan data untuk tahun 2004 dan 2005. Data tahun 2004 dan 2005 ini kemudian akan dijadikan data validasi untuk hasil prediksi yang dikeluarkan oleh sistem sehingga didapat nilai korelasi ketepatan antara data prediksi dengan data lapangan sebenarnya.

Gambar VI-5 memperlihatkan perbandingan antara data curah hujan yang terjadi dengan data model prediksi yang dihasilkan oleh sistem.



Gambar VI-5 Perbandingan data curah hujan sebenarnya (garis merah) dengan data prediksi sistem (garis hitam) untuk tahun 2004-2005 pada setiap lokasi (a) Cengkareng, (b) Kemayoran, (c) Tanjung Priok, (d) Pd Betung, dan (e) Dermaga Bogor.

Tabel VI-6 Korelasi antara data curah hujan sebenarnya dengan data model prediksi yang dihasilkan oleh sistem untuk tiap lokasi stasiun.

Lokasi	Korelasi
Cengkareng	91%
Kemayoran	76%
Tanjung Priok	88%
Pd Betung	66%
Dermaga Bogor	84%

Untuk mengetahui rincian data curah hujan sebenarnya dan data model prediksi yang dihasilkan oleh sistem untuk tahun 2004-2005 dapat dilihat pada lampiran 4. Perhitungan nilai korelasi antara kedua data ini digunakan persamaan (II.29 – II.32). Tabel VI.6 adalah hasil perhitungan korelasi untuk tiap lokasi. Lampiran 4 juga menyediakan grafik hasil model prediksi sepanjang tahun 2006-2017.

VI.2.E. Kontur Distribusi Curah Hujan

Langkah terakhir adalah pemetaan kontur curah hujan untuk wilayah DKI Jakarta dengan metode *Universal Kriging*. Data yang dibutuhkan dari metode ini adalah data spasial seluruh stasiun observasi yang dimiliki tiap bulan. Hasil kontur untuk prediksi tahun 2006-2010 dapat dilihat pada lampiran F. Kesimpulan yang dapat diambil dari urutan kontur yang dihasilkan adalah begai berikut :

1. Terjadi pelebaran musim kemarau pada tahun 2007, musim kemarau terjadi pada bulan Mei-Juni dan berlangsung hingga akhir tahun.
2. Pada tahun 2008 musim hujan menjadi melebar, musim kemarau diperkirakan terjadi pada bulan Juli hingga pertengahan September.
3. Awal dan akhir tahun 2008 merupakan musim hujan yang paling basah untuk tiga tahun terakhir.
4. Tahun 2010, musim hujan melebar hingga pertengahan tahun dimana curah hujan hampir merata untuk tiap bulannya.

Bab VII.

Kesimpulan dan Saran

VII.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian pada data curah hujan untuk 5 lokasi berbeda untuk wilayah Jakarta, terdapat garis besar kesimpulan yang dapat diambil antara lain :

1. Curah hujan bersifat periodik tiap tahunnya dan fungsi Deret Fourier dapat menangani data periodik tersebut. Kurva yang dihasilkan oleh fungsi ini juga dapat merefleksikan pola murni curah hujan tahunan sepanjang pengukuran data yang terjadi. Dengan kata lain, apabila sepanjang tahun cuaca di lokasi tersebut tidak mengalami gangguan dari faktor manapun, maka pola curah hujannya mendekati model fungsi Deret Fourier dengan orde dan frekuensi tertentu.
2. Curah hujan bersifat non-Stasioner yang diakibatkan oleh gangguan dari banyak faktor luar. Data anomali curah hujan dihasilkan dari simpangan data curah hujan sebenarnya terhadap model fungsi Deret Fourier yang merefleksikan pola murni curah hujan tersebut.
3. Untuk dapat memprediksi data curah hujan, data anomali harus di asumsikan bersifat periodik juga. Pertama, data anomali diperhalus untuk menghilangkan noise-noise data. Kedua, metode FFT digunakan untuk melihat frekuensi dominan anomali. Kemudian, fungsi VI.1 dicocokkan pada data anomali.
4. Proses penghalusan data dengan metode Prosedur Penghalusan Terlokalisasi atau *Lowess Smoothing* tidak merubah nilai frekuensi-frekuensi yang ada dalam data. Artinya proses ini mampu mereduksi noise tanpa merubah sifat periodiknya.
5. Hasil proses kurva fitting untuk data anomali tiap lokasi stasiun menunjukkan bahwa fungsi VI.1 dengan frekuensi 0,032 Hz dapat merefleksikan data dengan *error* yang cukup rendah dan stabil untuk memprediksikan data. Frekuensi 0,032Hz berkenaan dengan periode 2,6 tahun, artinya trend anomali akan kembali berulang dalam kurun waktu 2,6 tahun.

VII.2. Saran

Masih banyak hal yang harus diperbaiki dalam penelitian tesis ini baik dari segi perangkat lunak yang dibangun maupun metode numerik yang digunakan. Untuk pengembangan selanjutnya, ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan untuk kesempurnaannya antara lain :

1. Metode penghalusan data dengan regresi terlokalisasi atau Loess dan Lowess Smoothing masih belum sempurna menghilangkan noise pada data curah hujan. Metode ini baik untuk data yang terletak pada rentang pertengahan namun buruk untuk data awal dan akhir. Sebaiknya gunakan metode penghalusan yang baik untuk keseluruhan rentang data seperti metode Kalman Filter.
2. Proses pemodelan masih banyak dilakukan secara manual, ini terjadi pada pemilihan fungsi kurva fitting dan parameter awal yang dibutuhkan. Proses manual ini sangat banyak memakan waktu. Proses pemodelan sebaiknya dilakukan oleh sistem secara otomatis untuk keseluruhan proses. Namun kendala yang dialami selama penelitian adalah sulitnya menentukan parameter awal yang benar-benar cocok untuk input proses pemodelan. Proses otomatisasi pemodelan dapat saja dilakukan dengan metode Fuzzy Logik dimana parameter awal dapat ditentukan secara *heuristicaly* berdasarkan pengalaman penelitian yang selama ini didapatkan.
3. Hasil penelitian dalam tesis ini masih banyak meninggalkan tanda tanya. Misalnya pada frekuensi-frekuensi dominan yang dihasilkan oleh proses FFT. Angka-angka frekuensi ini diduga mempunyai arti tersendiri dalam mendiskripsikan sifat curah hujan. Namun kurangnya penelitian yang dilakukan untuk mempelajari perubahan iklim di Indonesia membuat angka-angka frekuensi ini menjadi kurang berarti.
4. Hasil yang diperoleh dari kontur distribusi curah hujan di Jakarta memperlihatkan bahwa daerah ini kurang rentan terhadap perubahan iklim. Dengan arti lain, iklim Jakarta untuk beberapa tahun kedepan masih stabil. Penelitian perubahan iklim akan menjadi menarik apabila daerah yang diteliti adalah daerah-daerah dimana kejadian fenomena alam seperti La-Nina dan El-Nino sangat mempengaruhi pola musim ditempat itu.

Referensi

- [1]. _____, 1992, *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press.
- [2]. Aster R.C, Borchers B, Clifford T.H, 2005, *Parameter Estimation and Inverse Problems*, Elsevier Academic Press.
- [3]. Davis.C.J, 1986, *Statistics and Data Analysis in Geologi 2nd*, John Willey & Son. Inc, Canada
- [4]. Howison, Sam; Crighton (Deceased), C. G.; Ablowitz, M. J.; Davis, S. H.; Hinch, E. J.; Iserles, A.; Ockendon, J.; Olver, P. J., 2005, *Practical Applied Mathematics: Modelling, Analysis, Approximation*, Cambridge University Press.
- [5]. Jacobson, 1993, *Object Oriented Software Engineering*, Addison Wesley, USA.
- [6]. MathWork Group, 2007, *Matlab^R 7th Documentation- Data Analisis*, Mathwork, Inc.
- [7]. Metereologi BMG, 2007, *Perkiraan Musim Kemarau tahun 2007*, Laporan Badan Metereologi dan Geofisika (BMG).
- [8]. Monckton, 2006, *Apocalypse Cancelled*, Jurnal Sunday Telegraph.
- [9]. Telea A.C, van Overveld C.W.A.M, 2005, *An Object-Oriented Interactive System for Scientific Simulations: Design and Applications*. Eindhoven University of Technology, Department of Mathematics and Computing Science, The Netherlands.
- [10]. Thomas R. Karl, Susan J. Hassol, Christoper D. Miller, William L. Murray, 2006, *Temperature Trends in the Lower Atmosphere*, Laporan U.S. Climate Change Science Program.
- [11]. Wirjohamidjaja S, 2006, *Meteorologi Praktik*, Badan Meteorologi dan Geofisika.

Lampiran A

Library Model Pada Sistem Pemodelan Perubahan Iklim

Dalam sistem pemodelan perubahan iklim, disediakan beberapa persamaan yang dijadikan *default library* model (A.1 sampai A.6). *Library* ini dipersiapkan untuk menangani berbagai jenis variasi data iklim dan cuaca. Kenyataannya pada tahap implementasi, persamaan yang disediakan oleh *default library* model belum bisa menghasilkan model yang memuaskan (*error* simpangan masih cukup tinggi dan tingkat korelasi data sangat rendah). Oleh karena itu persamaan A.7 kemudian ditambahkan untuk menyelesaikan permasalahan ini.

Tabel L-1. Library model yang disediakan oleh sistem pemodelan perubahan iklim

No	Nama Model	Persamaan
A.1	Polinomial	$y = \sum_{i=1}^{n+1} p_i x^{n+1-i}$
A.2	Exponential	$y = ae^{bx}$ $y = ae^{bx} + ce^{dx}$
A.3	Power Series	$y = ax^b$ $y = a + bx^c$
A.4	Sum of Sinus	$y = \sum_{i=1}^n a_i \sin(b_i x + c_i)$
A.5	Fourier Series	$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos(nwx) + b_i \sin(nwx)$
A.6	Gaussian	$y = \sum_{i=1}^n a_i e^{\left[-\left(\frac{x-b_i}{c_i}\right)^2\right]}$
A.7	New Function	$a_o + \sum a_i x \sin(iwx) + \sum b_i \cos(iwx) + f(x)$

Persamaan A.7 sebenarnya adalah modifikasi persamaan A.5, terlihat pada suku ke-2 yang disisipkan variabel x yang berguna untuk perubahan data iklim yang semakin ekstrim. Suku ke-4 berupa fungsi sembarang (dapat berupa persamaan A.1 atau A.2), suku ini bertujuan untuk menangani perubahan data iklim/cuaca secara global baik berupa polinomial maupun exponential.

Lampiran B

Pengujian Performansi Sistem Pemodelan Perubahan Iklim

Pengujian performansi merupakan uji validasi dimana objek-objek numerik yang dibentuk dalam sistem pemodelan perubahan iklim dibandingkan hasil outputnya dengan modul-modul yang bersesuaian dari program Matlab Release 2007a. Program Matlab digunakan sebagai perkasas pembanding karena modul-modul numerik yang disediakan oleh perangkat lunak ini sudah teruji dan dipakai secara luas untuk berbagai keperluan. Dengan pengujian ini maka tingkat ketepatan (*Corectness*) dari sistem dapat diketahui.

5. Uji Kelas Matrix.java

Untuk pengujian kelas ini diberikan dua buah matrix berorde 3x3 dan satu matrix berorde 3x4 yaitu :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 3 & 1 & 2 \\ 4 & 1 & 3 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 7 & 3 & 1 \\ 2 & 3 & 5 \\ 8 & 1 & 6 \end{pmatrix}, \text{ dan } C = \begin{pmatrix} 2 & 1 & -3 & -1 \\ -1 & 3 & 2 & 12 \\ 3 & 1 & -3 & 0 \end{pmatrix}$$

Tabel L-2. Daftar uji method kelas Matrix.java

No	Operasi	Method Matrix.java	Sintak Matlab	Hasil Matrix.java	Hasil Matlab	Rasio Ketepatan
1	Perjumlahan A+B	add(Matrix) : Matrix	A+B	$\begin{pmatrix} 8 & 5 & 5 \\ 5 & 4 & 7 \\ 12 & 2 & 9 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 8 & 5 & 5 \\ 5 & 4 & 7 \\ 12 & 2 & 9 \end{pmatrix}$	100%
2	Pengurangan A-B	subtract(Matrix) : Matrix	A-B	$\begin{pmatrix} -6 & -1 & 3 \\ 1 & -2 & -3 \\ -4 & 0 & -3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -6 & -1 & 3 \\ 1 & -2 & -3 \\ -4 & 0 & -3 \end{pmatrix}$	100%
3	Perkalian A*B	multiplay(Matrix) : Matrix	A*B	$\begin{pmatrix} 43 & 13 & 35 \\ 39 & 14 & 20 \\ 54 & 18 & 27 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 43 & 13 & 35 \\ 39 & 14 & 20 \\ 54 & 18 & 27 \end{pmatrix}$	100%
4	Transformasi A^T	transform() : Matrix	A'	$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 3 \end{pmatrix}$	100%
5	Inversi A^{-1}	inverst() : Matrix	inv(A)	$\begin{pmatrix} -0.2 & 0.4 & 0.0 \\ 0.2 & 2.6 & -2.0 \\ 0.2 & -1.4 & 1.0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0.2 & 0.4 & 0.0 \\ 0.2 & 2.6 & -2.0 \\ 0.2 & -1.4 & 1.0 \end{pmatrix}$	100%
6	Eliminasi matrix C	gaussElimination() : double[]	rref(A)	[2 3 1]	[2 3 1]	100%
Rata-rata rasio ketepatan						100%

Di dalam kelas Matrix.java, terdapat method-method yang mampu menangani berbagai operasi matrix seperti perjumlahan, perkalian, inversi, transformasi, eliminasi dan sebagainya. Ketepatan perhitungan yang diproses tiap method Matrix.java ini dapat dilihat pada tabel L-2 dengan perbandingan hasil yang

dikeluarkan oleh objek-objek Matlab. Dapat disimpulkan bahwa hasil keluaran semua method dalam kelas Matrix.java persis sama dengan hasil keluaran dari modul-modul Matlab yang bersesuaian. Ketepatan proses perhitungan kelas ini adalah 100%.

6. Uji Kelas Fitting.java

Untuk pengujian kelas ini diberikan sampel data curah hujan sepuluh-harian dalam setahun untuk zona 30. Sampel ini mewakili data curah hujan wilayah ini dari tahun 1970 hingga 2000 yang dikeluarkan oleh Badan Metrologi dan Geofisika Indonesia.

```
CH = [117 145 149 121 89 83 90 60 53 44 41 47
      43 38 24 31 22 19 18 17 19 21 16 16
      20 15 17 29 30 24 28 25 40 48 65 80]
```

Tabel L-3 memuat daftar uji method dalam kelas Fitting.java. Kelas ini mempunyai method performLinier() dan performNonLinier() yang masing-masing bertugas untuk menangani proses analisis Least Square secara Linier dan Non-Linier. Kedua method diatas kemudian diberikan passing parameter berupa objek-objek dari kelas anak FitType.java yang disebut fungsi-fungsi fitting.

Tabel L-3. Daftar uji kelas Fitting.java

No	Least Square	Fungsi Fitting	Hasil Matrix.java	Hasil Matlab	Rasio Ketepatan
1	General Linier	Polinomial orde 1	SSE = 31.080 Rsquare = 0,351	SSE = 3.108e+004 Rsquare = 0.3511	100%
		Polinomial orde 2	SSE = 3140 Rsquare = 0.934	SSE = 3140 Rsquare = 0.9344	100%
		Polinomial orde 3	SSE = 3131 Rsquare = 0.935	SSE = 3131 Rsquare = 0.9346	100%
		Polinomial orde 4	SSE = 3086 Rsquare = 0.936	SSE = 3086 Rsquare = 0.9356	100%
		Polinomial orde 5	SSE = 2596 Rsquare = 0.946	SSE = 2596 Rsquare = 0.9458	100%
2	Non-Linier	Exponential orde 2	SSE = 3.229 Rsquare = 0,933	SSE = 3229 Rsquare = 0.9326	100%
		Deret Fourier orde 1	SSE = 3.140 Rsquare = 0,934	SSE = 3140 Rsquare = 0.9344	100%
		Sum of Sinus orde	SSE = 3.212 Rsquare = 0,933	SSE = 3176 Rsquare = 0.9337	98.8%
		Gaussian orde 3	SSE = 995 Rsquare = 0,979	SSE = 990.1 Rsquare = 0.9793	99,5%
		Gaussian orde 4	SSE = 972 Rsquare = 0,971	SSE = 964.4 Rsquare = 0.9706	99.2%
Rata-rata rasio ketepatan					99,75%

Dari hasil uji ini dapat disimpulkan bahwa ketepatan proses perhitungan dalam kelas Fitting.java adalah 99,75%. Ketidaksesuaian hasil keluaran pada kelas Fitting.java terhadap keluaran modul Matlab terjadi pada metode performNonLinier() dengan passing parameter SumOfSinus.java dan Gaussian.java. Ketidaksesuaian ini terjadi akibat perbedaan input nilai parameter awal yang dibutuhkan oleh kedua objek tersebut.

7. Uji Kelas Smoothing.java

Untuk keperluan pengujian, data sampel CH yang diujikan pada kelas Fitting kembali digunakan untuk uji Smoothing.java. Pengujian validasi kelas ini dilakukan dengan membandingkan hasil keluarannya dengan objek smoothing Matlab. Sintak program Matlab yang digunakan adalah :

`y = smooth(CH, span, method)`

dimana metode yang digunakan adalah "method = lowess" dan nilai span diganti dari 5, 7, 9, 11, 13. Berikut hasil perbandingan keluaran kedua objek ini.

Tabel L-4 Daftar kegiatan pengujian kelas Smoothing.java dengan span yang berbeda

Span	Hasil Objek Smoothing Sistem	Hasil Objek Smoothing Matlab	Rasio Ketepatan
5	117 145 149 121 89 83 90 60 53 44 41 47 43 38 24 31 22 19 18 17 19 21 16 16 20 15 17 29 30 34 38 35 40 48 65 80	125 134 140 120 96 87 79 66 52 46 44 44 43 35 30 26 24 20 18 18 19 19 17 17 17 17 20 26 31 34 36 37 40 51 65 80	98%
7	117 146 146 121 93 86 80 67 50 44 42 44 44 35 30 25 24 18 18 18 19 19 17 17 18 16 19 26 31 34 36 37 39 50 63 80	137 132 127 118 102 88 77 67 55 47 45 43 41 36 31 26 23 21 18 18 19 18 18 17 17 18 21 25 30 34 36 38 43 54 65 77	97%
9	126 142 137 123 102 86 75 66 54 45 44 44 41 36 31 25 22 20 18 18 18 18 18 17 16 17 21 25 31 34 35 36 41 49 63 80	142 133 124 115 104 89 76 66 57 50 46 42 39 36 31 27 23 21 19 19 18 18 18 18 18 19 22 25 30 33 36 39 47 55 64 73	96%
11	136 136 131 120 107 90 75 63 55 49 44 41 39 36 32 27 23 20 19 18 18 18 17 17 17 18 21 25 29 32 35 37 42 50 62 77	144 134 123 113 103 91 77 67 59 52 46 42 39 35 31 28 24 22 20 19 18 18 18 18 18 20 23 26 29 32 36 42 49 56 62 70	95%
13	141 135 128 117 104 91 77 65 56 49 44 41 38 34 31 27 24 21 19 18 17 17 17 17 18 19 22 25 28 31 34 39 44 52 63 74	144 134 123 112 102 91 79 68 60 54 48 42 38 35 32 28 25 22 21 19 18 18 18 18 19 21 23 26 29 32 38 44 50 56 62 68	94%

Dari tabel L-4, terdapat perbedaan antara hasil keluaran dari objek Smoothing.java dibandingkan modul Soothing milik Matlab. Rasio ketepatan dihitung dengan persamaan :

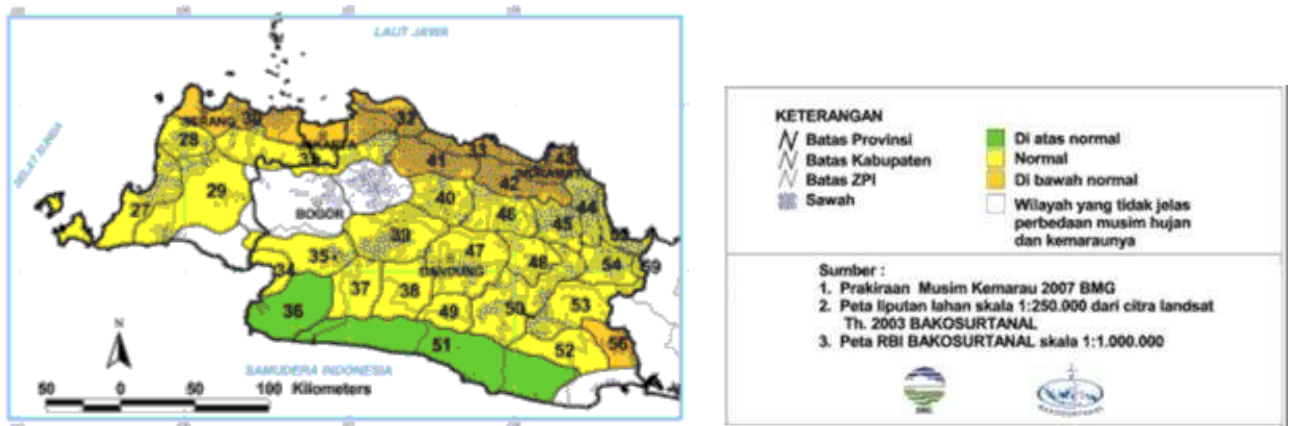
$$\text{rasio ketepatan} = \frac{\sum_{n=1}^N |\text{output Matlab} - \text{output Sistem}|}{\sum_{n=1}^N \text{output Matlab}} \times 100\%$$

Perbedaan yang dihasilkan tidak cukup signifikan karena perbedaan tiap data sangat kecil sehingga *error* yang diperoleh masih dapat diterima. Selain itu tujuan dari objek Smoothing.java ini adalah menghilangkan noise-noise pada data tanpa menghilangkan sifat data tersebut (seperti frekuensi dan priodanya), dan itu telah dipenuhi oleh objek ini.

Lampiran C

Zona dan Lokasi Stasiun Observasi Cuaca

Pada tesis ini daerah yang menjadi subjek penelitian adalah DKI Jakarta. DKI Jakarta sendiri termasuk dalam 2 Zona Perkiraan Iklim (ZPI) yang berbeda yaitu ZPI 30 dan ZPI 31. ZPI 30 meliputi : Serang bagian utara, Tangerang bagian utara, DKI Jakarta bagian utara, Bekasi bagian utara sedangkan ZPI 31 meliputi : Serang bagian tenggara, Tangerang bagian selatan, DKI Jakarta bagian selatan, Bekasi bagian selatan, Kota Depok. Gambar 26 memperlihatkan pembagian ZPI di Jawa Barat, perbedaan warna menandakan perbedaan paparan curah hujan sepanjang musim basah.



Gambar L-1 Pembagian Zona Perkiraan Iklim (ZPI) di Jawa Barat

Pengambilan data untuk keperluan penelitian meliputi 5 stasiun yang tersebar pada kedua zona tersebut. Tabel L-5 berikut adalah daftar nama stasiun observasi cuaca milik BMG dan lokasinya.

Tabel L-5 Nama Stasiun Observasi Cuaca dan Lokasinya

No	Nama Stasiun	Lintang	Bujur	Elivasi
1.	Cengkareng	06° 07' 32.65" LS	106° 39' 28.29" BT	6 m
2.	Tanjung Priok	06° 06' LS	106° 52' BT	2 m
3.	Kemayoran	06° 09' LS	106° 51' BT	5 m
4.	Pd Betung	06° 15' 20.8" LS	106° 45' 00" BT	26 m
5.	Dermaga Bogor	06° 33' 10.9" LS	106° 44' 58.5" BT	250 m

Gambar 27. menggambarkan denah lokasi stasiun observasi cuaca yang dimaksud. Seperti dilihat bahwa stasiun Dermaga bogor terletak jauh diluar daerah Jakarta, namun pengecualian ini tetap dijadikan sebagai data yang perlu diperhatikan mengingat daerah Bogor mengirimkan aliran air hujannya menuju Jakarta. Aliran ini (dalam jumlah besar) dapat menimbulkan bencana pada sebagian daerah Jakarta.

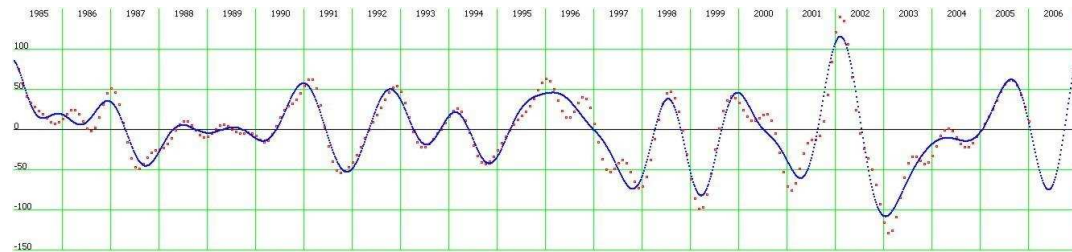


Gambar L-2 Peta lokasi stasiun observasi cuaca

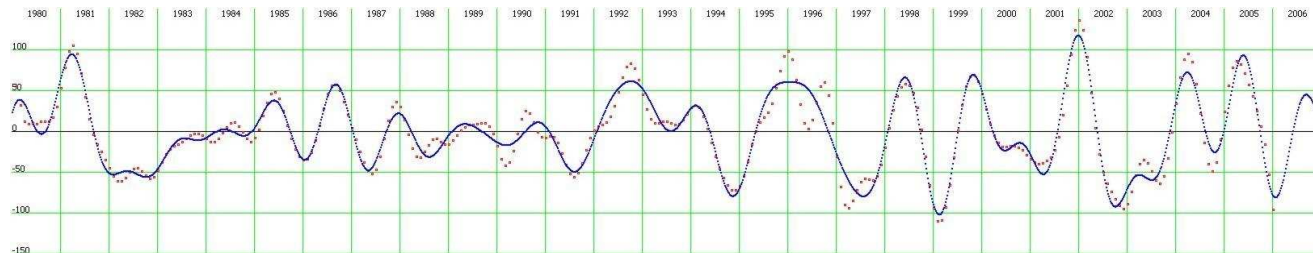
Lampiran C

Grafik Model Anomali

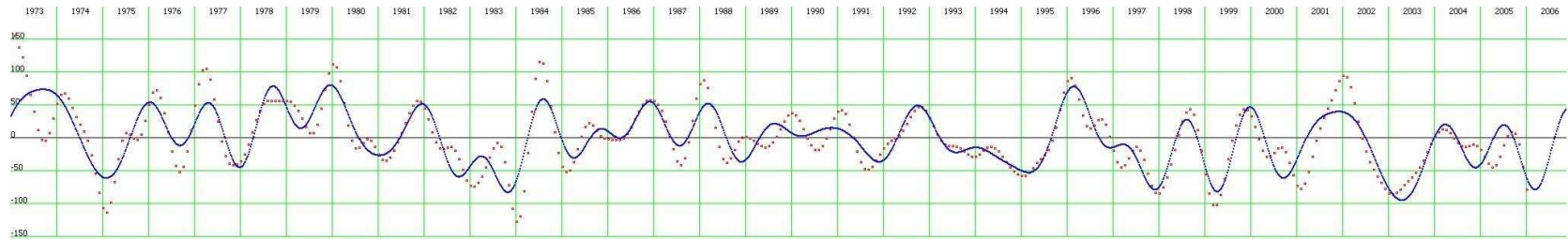
Grafik anomali untuk setiap stasiun observasi pemantau cuaca milik BMG. Panjang data yang diinput berbeda-beda berdasarkan kapan mulai beroperasinya stasiun tersebut. Data yang diinput dan dianalisis oleh sistem hanya sampai tahun 2005.



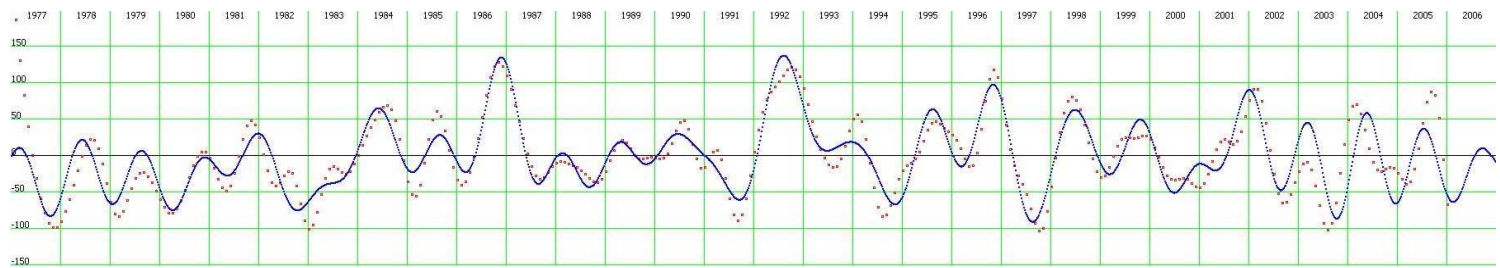
Gambar L-3 Grafik anomali stasiun pemantau cuaca Cengkareng tahun 1985-2005



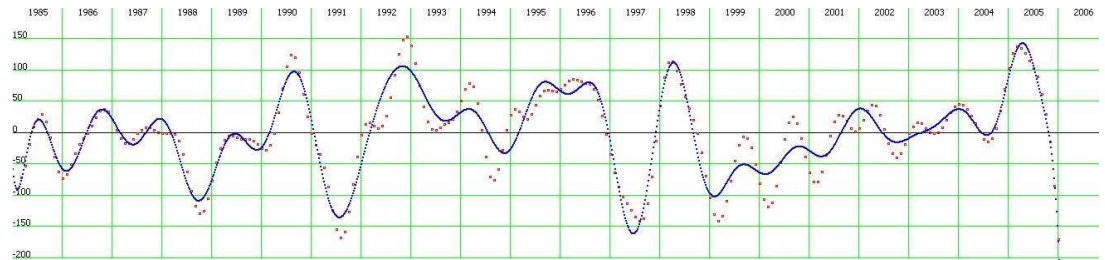
Gambar L-4 Grafik anomali stasiun pemantau cuaca Kemayoran tahun 1980-2005



Gambar L-5 Grafik anomali stasiun pemantau cuaca Tanjung Periok tahun 1973-2005



Gambar L-6 Grafik anomali stasiun pemantau cuaca Pd Betung tahun 1977-2005



Gambar L-7 Grafik anomali Stasiun Pemantau Cuaca Dermaga Bogor tahun 1985-2005

Lampiran D

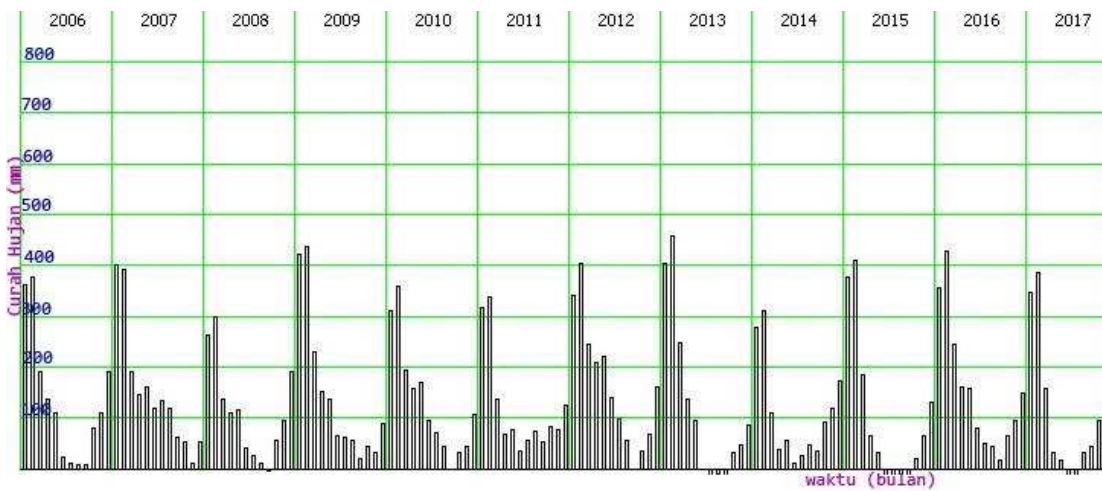
Tabel & Grafik Prediksi Curah Hujan

Tabel L-6 Perbandingan data curah hujan sebenarnya terhadap data prediksi sistem selama tahun 2004-2005 untuk tiap daerah stasiun pemantau cuaca.

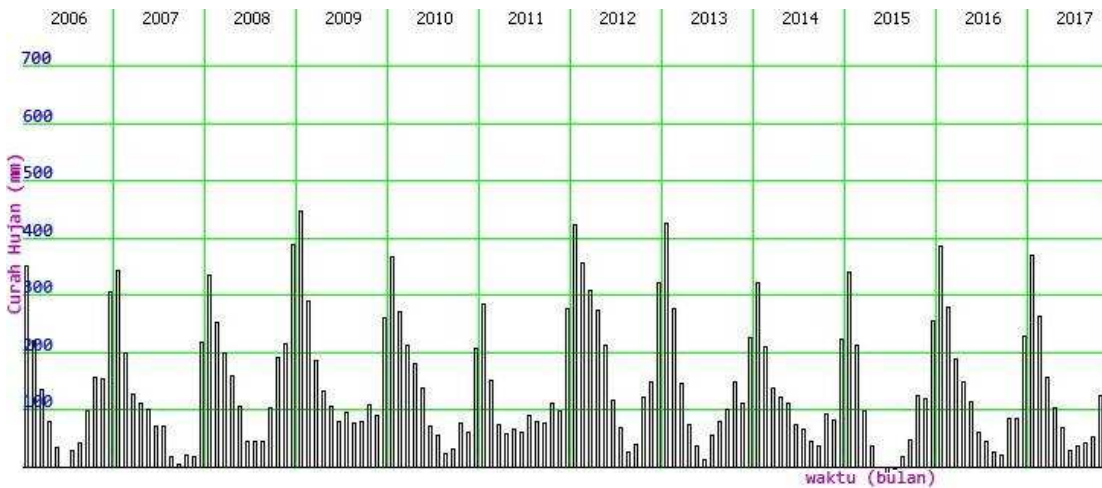
Bulan	Cengakareng		Kemayoran		Tanjung Periok		Pd Betung		Dermaga Bogor	
	Data	Model	Data	Model	Data	Model	Data	Model	Data	Model
Jan06	158,9	366,1	225,7	389,3	157,6	515,0	385,5	235,9	403,7	353,8
Feb06	521,3	357,8	418,8	260,9	587,4	525,5	316,7	269,4	327,2	350,6
Mar06	151,1	165,0	260,7	224,9	160,5	266,1	333,8	200,5	431,5	375,2
Apr06	151,1	105,8	340,2	157,1	217,2	131,2	182,8	260,4	639,8	437,3
Mei06	159,8	48,5	119,7	107,8	49,7	33,7	290,3	193,0	373,6	505,2
Jun06	12,7	0,0	53,9	44,4	56,6	-24,9	26,6	27,9	169,3	300,0
Jul06	57,3	0,0	52,4	45,3	36,6	-32,4	228,6	75,4	208,6	184,8
Agt06	0	0,0	17,3	14,5	10,9	-10,5	23,0	93,3	166	128,9
Sep06	5,4	16,4	0	71,2	5,4	12,5	27,0	25,6	391,5	146,8
Okt06	15,2	93,3	43,4	120,6	53	47,3	26,5	30,4	277,3	123,8
Nov06	108,1	108,9	84,5	138,3	109	78,0	220,8	116,1	400,8	206,5
Des06	163,1	176,2	351,3	365,0	175,9	129,2	428,0	296,9	431,7	326,9
Jan07	507	363,3	392,5	335,9	391,4	360,1	385,5	144,6	536,5	268,7
Feb07	222	300,4	351,6	167,9	458,4	390,3	1,0	294,1	580,4	434,8
Mar07	213	90,2	422,6	125,9	1	183,5	269,5	327,7	679,6	516,3
Apr07	156	64,2	105,5	86,8	52,5	117,3	103,0	222,2	307,7	282,3
Mei07	227	74,2	93,3	87,9	77,1	82,6	204,3	126,3	428,9	391,6
Jun07	161,5	56,7	134,1	72,9	141,4	50,3	278,1	66,6	682	353,8
Jul07	53,2	79,5	160,6	101,0	18,3	31,7	225,3	143,2	215,4	202,4
Agt07	156,6	64,2	39,1	69,9	57	19,0	157,3	142,3	153,2	183,5
Sep07	61,3	21,1	78,7	101,8	60,4	10,3	143,3	39,5	319,9	275,8
Okt07	114,4	30,0	135,7	130,1	45,1	33,9	240,3	126,8	350,9	404,7
Nov07	120,5	13,9	101,8	134,0	59,1	83,7	206,7	221,7	422,9	313,3
Des07	155,8	96,8	141,7	370,6	51,3	162,9	126,4	229,6	500,0	323,0

Tabel L-6 digunakan untuk menghitung korelasi model terhadap data lapangan. Data model yang dihasilkan pada tabel ini merupakan hasil proses sistem yang menggunakan data dari tahun 1985-2003 untuk seluruh data stasiun pemantau cuaca yang dipakai. Perhitungan korelasi menggunakan persamaan *error* dan korelasi yang dijabarkan pada sub-bab II.5.

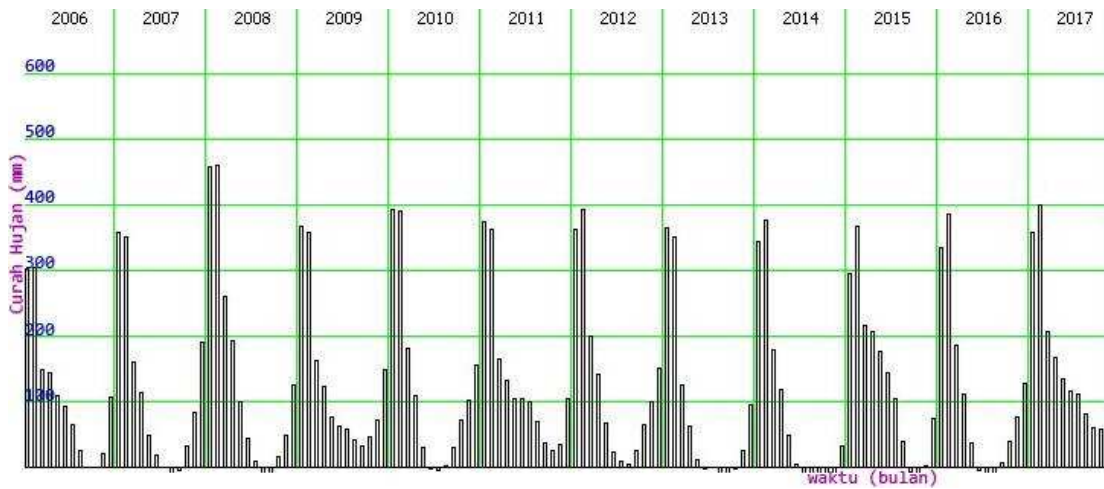
Grafik-grafik dibawah adalah prediksi curah hujan dari tahun 2006 hingga 2017. Model prediksi ini merupakan hasil proses sistem yang menggunakan keseluruhan data yang disediakan tiap-tiap stasiun. Panjang rentang data yang digunakan dapat dilihat pada tabel VI-1.



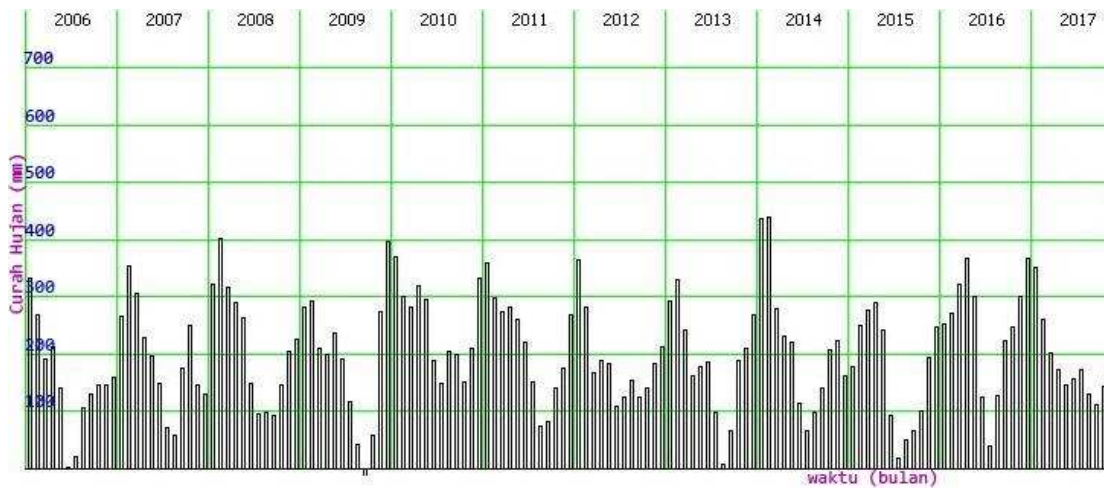
Gambar L-8 Grafik prediksi curah hujan di sekitar Stasiun Pemantau Cuaca Cengkareng



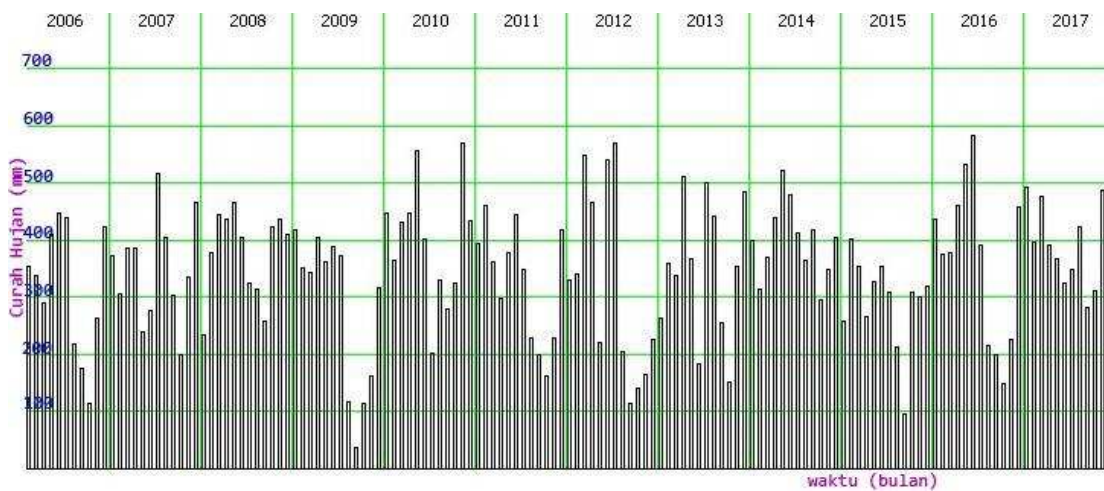
Gambar L-9 Grafik prediksi curah hujan di sekitar Stasiun Pemantau Cuaca Kemayoran



Gambar L-10 Grafik prediksi curah hujan di sekitar Stasiun Pemantau Cuaca Tanjung Priok



Gambar L-11 Grafik prediksi curah hujan di sekitar Stasiun Pemantau Cuaca Pd Betung



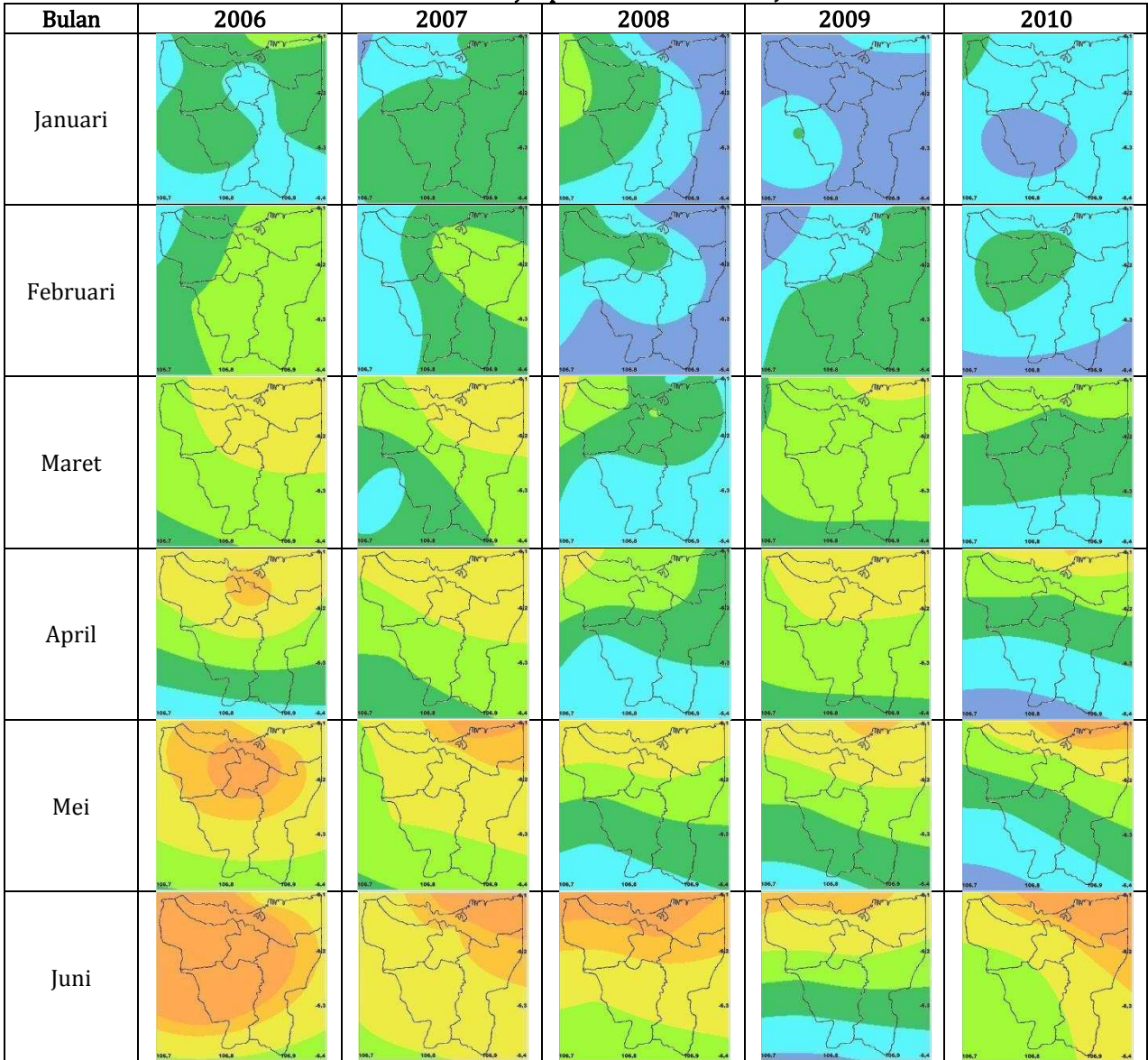
Gambar L-12 Grafik prediksi curah hujan di sekitar Stasiun Pemantau Cuaca Dermaga Bogor

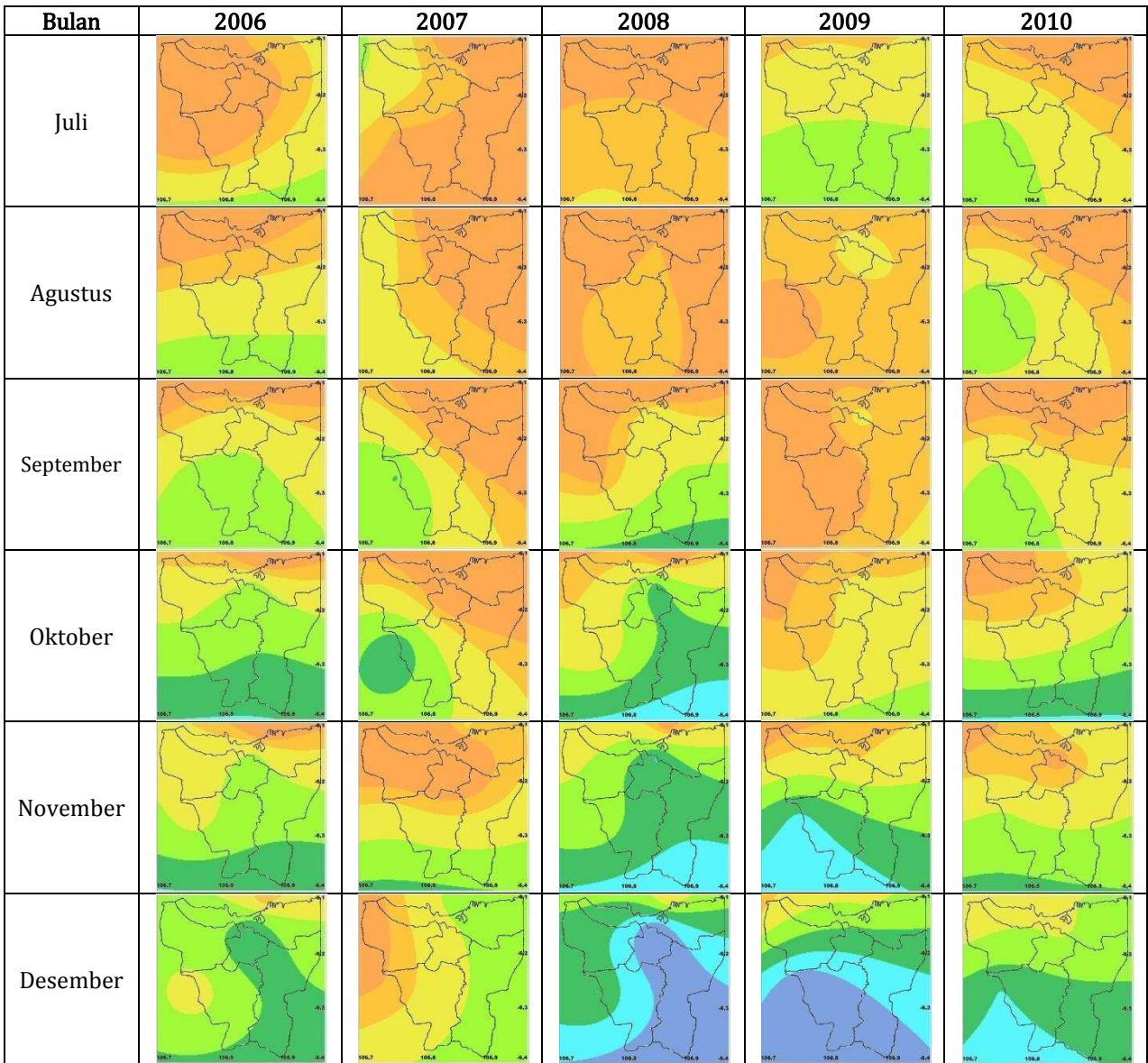
Lampiran E

Kontur Distribusi Curah Hujan

Kontur disusun berdasarkan bulan dan tahun untuk memudahkan interpretasi perubahan atau pergeseran distribusi hujan yang terjadi tahun 2006-2010.

Tabel L-7 Daftar kontur distribusi hujan perbulan untuk daerah Jakarta tahun 2006-2010





Keterangan warna

