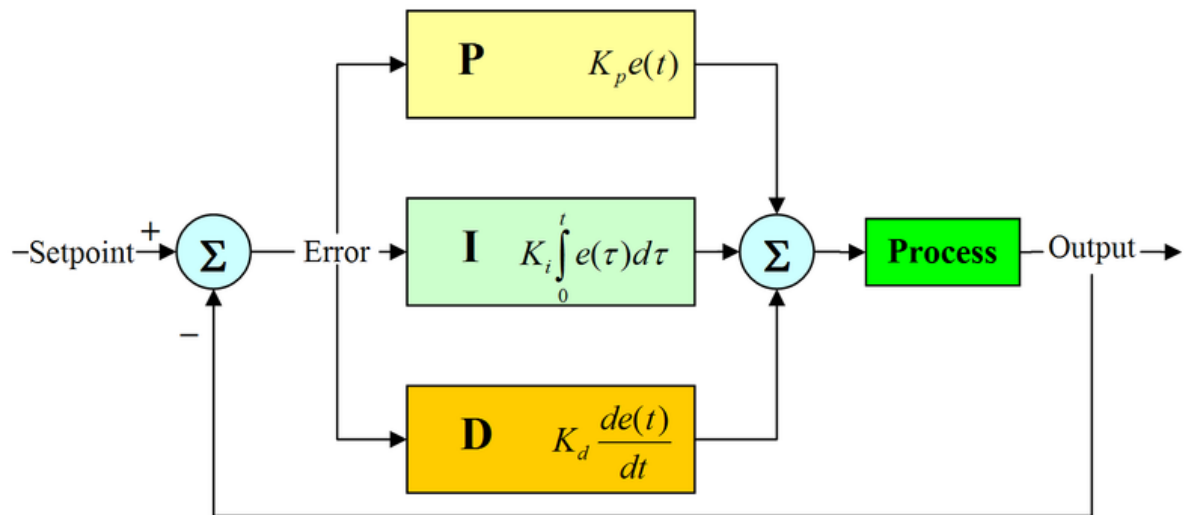


PID merupakan kombinasi yang lebih maju dari kendali PI dan PD. Kendali PID memiliki tanggapan yang cepat dan mendapatkan *steady state error* nol.



Keluaran sinyal kendali PID dirumuskan [18]:

$$u(t) = K_P \cdot e(t) + K_I \cdot \int_0^t e(t)dt + K_D \cdot de(t)/dt \quad (2.2)$$

Dalam kawasan waktu diskrit maka keluaran sinyal kendali dirumuskan:

$$u(k) = K_P (e(k) + K_I \cdot T_S [e(k-1) + e(k)] + K_D e(k) - e(k-1)/T_S) \quad (2.3)$$

Dengan:

$u(k)$ = sinyal keluaran kendali

K_P = konstanta proporsional

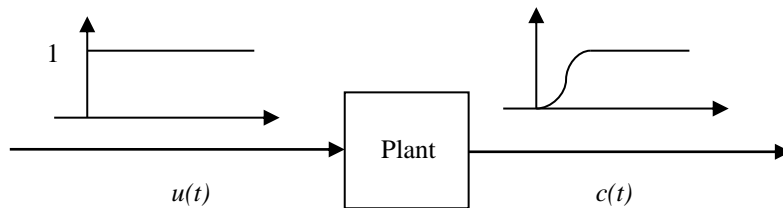
K_I = konstanta integral

K_D = konstanta derivatif

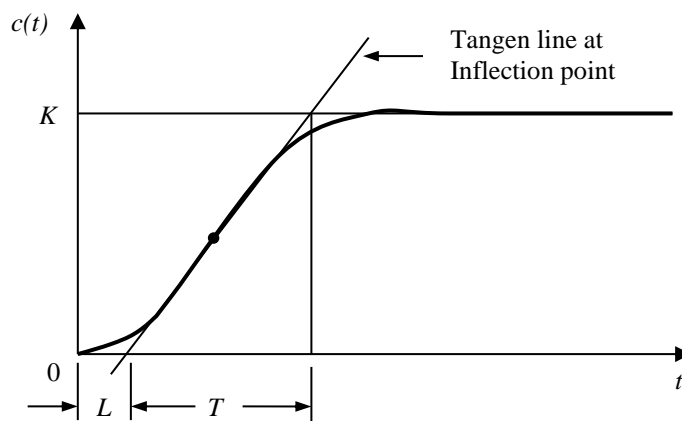
T_S = waktu cuplik (*sampling time*)

$e(k)$ = *error*.

Menentukan parameter kendali PID untuk *plant* yang tidak diketahui model matematisnya dapat menerapkan *tuning* Ziegler-Nichols. Untuk pengendali aras (*level control*) misalnya *plant* terdiri dari *feed screw* dan *conveyor belt* memindahkan bahan baku ke sebuah penampungan maka metode Ziegler-Nichols *open loop* tepat digunakan [19]. Metode *open loop* adalah metode pertama Ziegler-Nichols untuk *tuning* kendali PID [20], dengan memperoleh secara eksperimen tanggapan *plant* terhadap masukan *unit-step* akan menghasilkan kurva S seperti pada gambar 2.14. Kurva bentuk S memiliki karakteristik dengan dua buah konstanta, yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Kedua parameter tersebut diperoleh dengan menggambar garis tangensial pada titik infleksi kurva S dan memperoleh perpotongan garis tangensial dengan garis axis waktu dan garis $c(t) = K$ seperti pada gambar 2.15.



Gambar 2.14 Tanggapan *Unit –step plant*



Gambar 2.15 Tanggapan kurva S

Berdasarkan kurva S, Zigler-Nichols menentukan parameter K_P , T_i dan T_d pada metode pertama berbasis tanggapan undak *open loop* dirangkum pada tabel 2.2. Untuk kendali PID yang dirancang dalam paralel atau tiga aksi terpisah maka T_i dan T_d harus konversi untuk mendapatkan K_I dan K_D dengan rumus [18]:

$$K_I = K_P/T_i \quad (2.4)$$

$$K_D = K_P/T_D \quad (2.5)$$

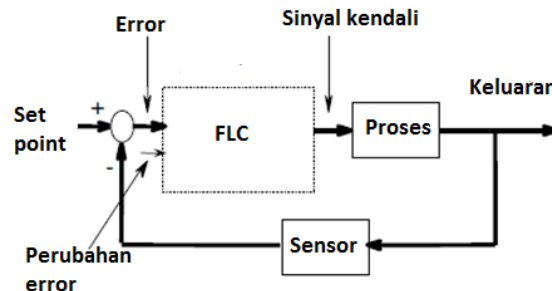
Tabel 2.2 Aturan *tuning* Zigler-Nichols *open loop*

Tipe Kendali	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0,9 T/L$	$L/0,3$	0
PID	$1,2 T/L$	$2L$	$0,5L$

2.2.5 Fuzzy Logic Controller (FLC)

Terdapat dua tipe FLC yang populer yaitu Mamdani dan Takagi-Sugeno. FLC yang pertama kali diperkenalkan oleh Mamdani dan Assilian (1975) [21], telah berkembang menjadi aplikasi yang luas. FLC metode Mamdani keluaran berupa himpunan *fuzzy*, mesin inferensi menggunakan *Max-Min* atau *Max-Product* dan defuzifikasi menggunakan metode *Centroid*. Berbeda dengan sistem kendali konvensional, FLC lebih tepat digunakan pada sistem yang sulit didefinisikan, yang dapat dikendalikan dengan operator manusia dengan tanpa mengetahui sifat dinamis dalam sistem tersebut [21].

FLC biasanya memiliki dua masukan dan satu keluaran untuk sistem *Single Input Single Output* (SISO). Masukan FLC biasanya *error* (e) dan *delta error* (Δe), keluaran perubahan sinyal kendali (Δu). Sistem FLC seperti pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Sistem FLC

2.2.5.1 Definisi Dan Terminologi Dasar *Fuzzy Logic*

Pada teori himpunan klasik (himpunan tegas), nilai keanggotaan dalam suatu himpunan A yang sering ditulis dengan $\mu_A(x)$ terdapat dua kemungkinan yaitu pertama, 1 (satu) yang berarti yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota himpunan, kedua 0 (nol) yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota himpunan. Pada himpunan *fuzzy* nilai derajat keanggotaan terletak pada rentang 0-1 :

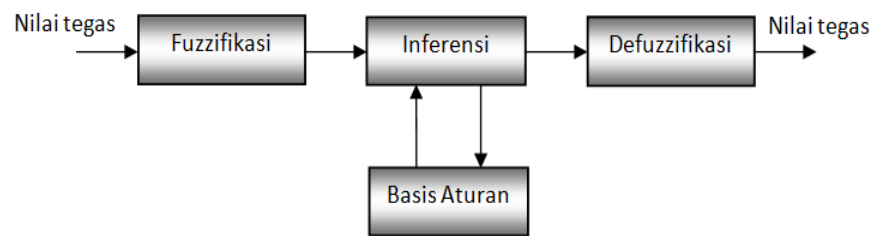
- Bila x memiliki nilai derajat keanggotaan *fuzzy* $\mu_A(x) < 1$ berarti x tidak menjadi anggota himpunan A sepenuhnya.
- Bila x memiliki nilai derajat keanggotaan $\mu_A(x) = 1$ berarti x menjadi anggota penuh pada himpunan A .
- Bila x merupakan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu peubah himpunan *fuzzy* disebut dengan semesta pembicaraan (*universe of discourse*). Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan riil yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Ada kalanya nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atas dan bawahnya.
- Peubah himpunan *fuzzy* terdiri dari peubah linguistik dan numerik. Peubah linguistik adalah peubah yang nilainya berupa kata-kata atau kalimat pada suatu bahasa natural maupun artifisial, misalnya
 - a. Dingin, hangat, panas untuk suhu
 - b. Muda, tua, sangat tua untuk usia

- c. Lambat, sedang, cepat untuk ukuran kecepatan

Peubah numerik menunjukkan nilai anggota semesta pembicaraan. Fungsi yang menetapkan nilai ini disebut fungsi keanggotaan (*membership function*).

2.2.5.2 Sistem Fuzzy

Sistem *fuzzy* adalah sistem yang bekerja dengan besaran/nilai *fuzzy* dan menggunakan logika *fuzzy*. Sistem *fuzzy* terdiri dari fuzifikasi, mesin inferensi, basis aturan dan defuzifikasi seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Sistem *fuzzy*