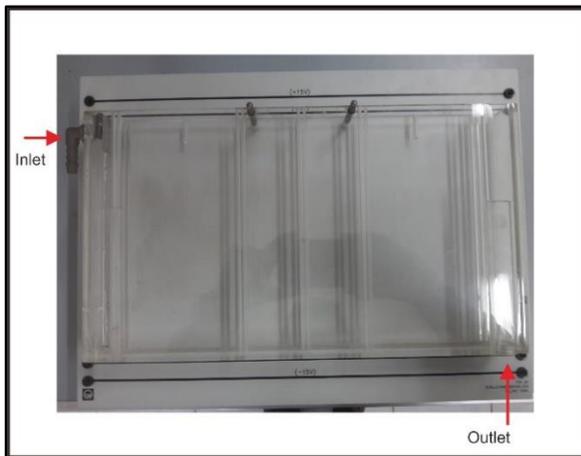


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Plant* Tangki Air 73426

Plant tangki air 73426 terdiri atas *filling tank* dan rangkaian sensor. *Filling tank* berbentuk balok yang pada bagian atasnya terdapat lubang sehingga membentuk sebuah ruang di dalamnya. Di dalam tangka disediakan tempat untuk menyelipkan sekat berlubang. Sekat ini akan menentukan bentuk perilaku *plant*. Pada bagian atas dan bawah tangka terdapat sebuah lubang untuk tempat masuk dan keluarnya air dari dan ke tangka penampungan. Untuk mengalirkan air dari tangki penampungan digunakan sebuah pompa. Bentuk dari *plant* tangki air 73426 ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 1.1 *Plant* Tangki Air 73426

2.2 Kontroler

Kontroler adalah suatu sistem dinamis yang sengaja ditambahkan untuk mendapatkan karakteristik sistem keseluruhan yang diinginkan (Ogata, 2011). Fungsi kontroler pada umumnya adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan nilai *input* dan *output* sistem secara keseluruhan (*plant*).
2. Menentukan penyimpangan (*error*).
3. Menghasilkan sinyal kontrol (mengurangi penyimpangan (*error*) menjadi nilai nol/ nilai yang kecil).

Adapun tujuan kontrol secara khusus adalah sebagai berikut:

- 1) Meminimumkan error steady state.
- 2) Meminimumkan *settling time*.
- 3) Mencapai spesifikasi transien yang lain, misalnya meminimumkan *maximum overshoot*.

Cara bagaimana kontroler menghasilkan sinyal kontrol disebut dengan aksi kontrol. Aksi kontrol dasar yang sering digunakan dalam kontroler adalah

1. Kontroler proporsional (P)
2. Kontroler integral (I)
3. Kontroler proporsional integral (PI)
4. Kontroler proporsional integral diferensial (PID)

2.2.1 Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proporsional adalah sebuah kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat output. Hubungan antara output kontroler $u(t)$ dan sinyal *error* $e(t)$ ditunjukkan dalam persamaan berikut:

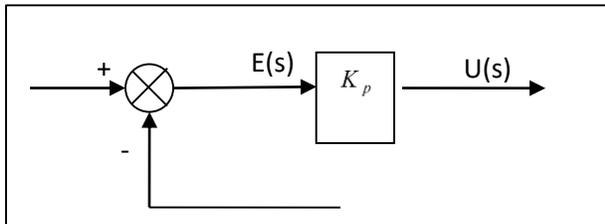
$$u(t) = K_p e(t)$$

atau, dalam fungsi alih

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

dimana K_p adalah penguatan.

Diagram blok kontroler proporsional (P) ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 1.2 Diagram blok kontroler proporsional (P)
Sumber: Ogata, 2011.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggerakannya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata, 2011).

2.2.2 Kontroler Integral (I)

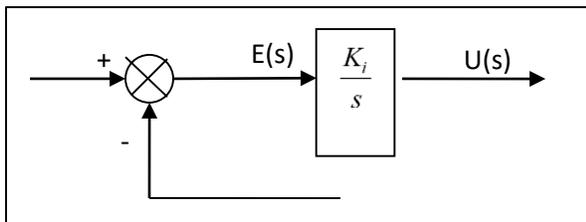
Kontroler integral (I) memiliki kemampuan untuk mengurangi *offset* yang diakibatkan oleh kontroler proporsional. Output kontroler $u(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan *error* $e(t)$. Persamaan kontroler integral (I) ditunjukkan dalam persamaan berikut (Ogata, 2011)

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

yang merupakan fungsi alih kontroler integral (I), dengan K_i adalah konstanta integral yang dapat diubah nilainya. Jika $e(t)$ bernilai nol, maka nilai $m(t)$ tetap konstan. Aksi kontrol integral biasa disebut dengan kontrol reset. Gambar 2.3 menunjukkan diagram blok kontroler integral (I).



Gambar 1.3 Diagram blok kontroler integral (I)
Sumber: Ogata, 2011.

2.2.3 Kontroler Proporsional Integral (PI)

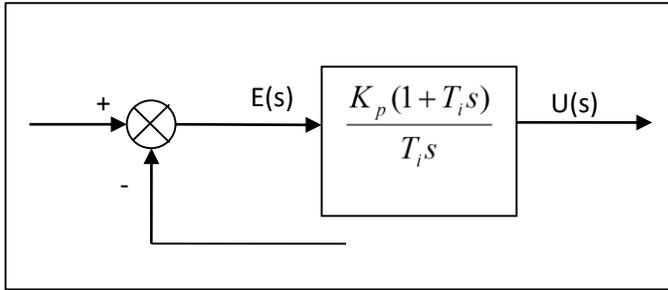
Kontroler proporsional integral (PI) memiliki kemampuan untuk mempercepat output dan mengurangi *offset*. Persamaan kontroler proporsional integral (PI) adalah

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Adapun fungsi alihnya adalah

$$\begin{aligned} \frac{U(s)}{E(s)} &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \\ &= \frac{K_p (1 + T_i s)}{T_i s} \end{aligned}$$

dengan K_p penguatan proporsional dan T_i disebut waktu integral, yang keduanya dapat ditentukan. Waktu integral mengatur aksi kontrol internal sedangkan perubahan nilai K_p berakibat pada bagian aksi kontrol proporsional maupun integral. Gambar 2.4 menunjukkan diagram blok kontroler proporsional integral (PI).



Gambar 1.4 Diagram blok kontroler proporsional integral (PI)
 Sumber: Ogata, 2011.

2.2.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

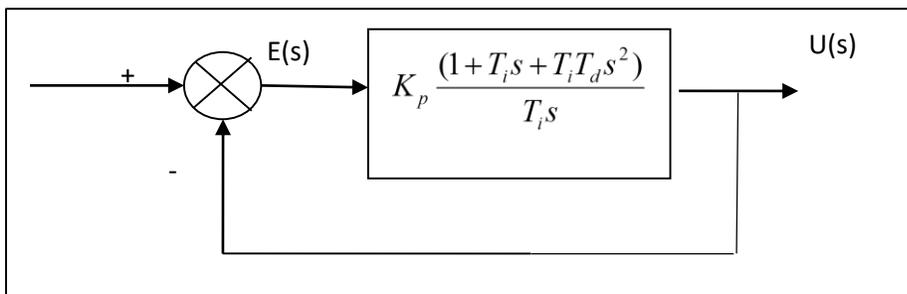
Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Masing-masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat output sistem, menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan beban (mempercepat *settling time*). Aksi kontroler proporsional integral diferensial (PID) didefinisikan dengan persamaan

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Sedangkan fungsi alihnya adalah

$$\begin{aligned} \frac{U(s)}{E(s)} &= K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \\ &= K_p \frac{(1 + T_i s + T_i T_d s^2)}{T_i s} \end{aligned}$$

dimana K_p adalah penguatan proporsional, T_i adalah waktu integral dan T_d adalah waktu diferensial. Gambar 2.5 menunjukkan diagram blok kontroler proporsional integral diferensial (PID).

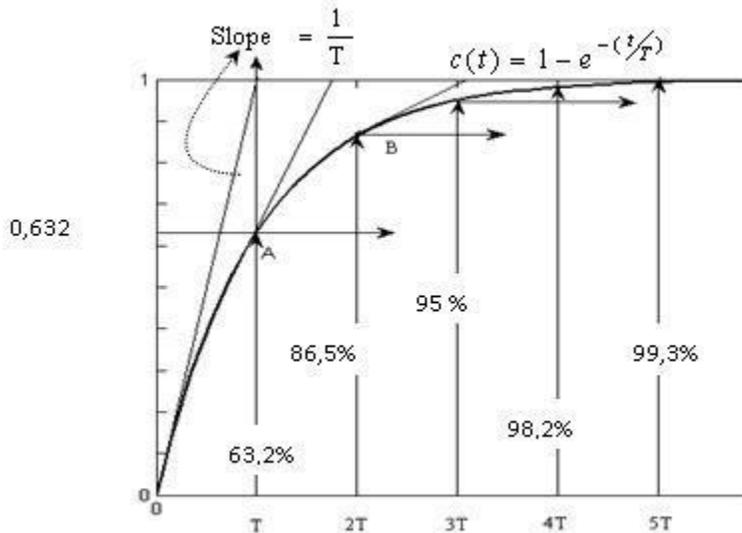


Gambar 1.5 Diagram blok kontroler proporsional integral diferensial (PID)
 Sumber: Ogata, 2011.

Kombinasi ini mempunyai keuntungan dibandingkan masing-masing kontroler, biasanya dengan kontroler ini didapatkan overshoot yang rendah, cepat mencapai *steady state* (keadaan mantap) dan *error steady state* (kesalahan keadaan mantap) yang kecil bahkan nol. Pada perancangan sistem kontrol, seringkali kita harus melakukan *trial and error*. Contohnya pada desain PID, kita harus melakukan *trial and error* kepada 3 variabel yang berbeda (P, I, dan D).

2.3 Sistem Orde Satu

Respon *unit step* orde satu diberikan oleh Gambar 2.6



Gambar 2.6 Respon *Unit Step* Sistem Orde Satu

Fungsi alih loop tertutup dari sistem orde satu diberikan oleh :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts + 1}$$

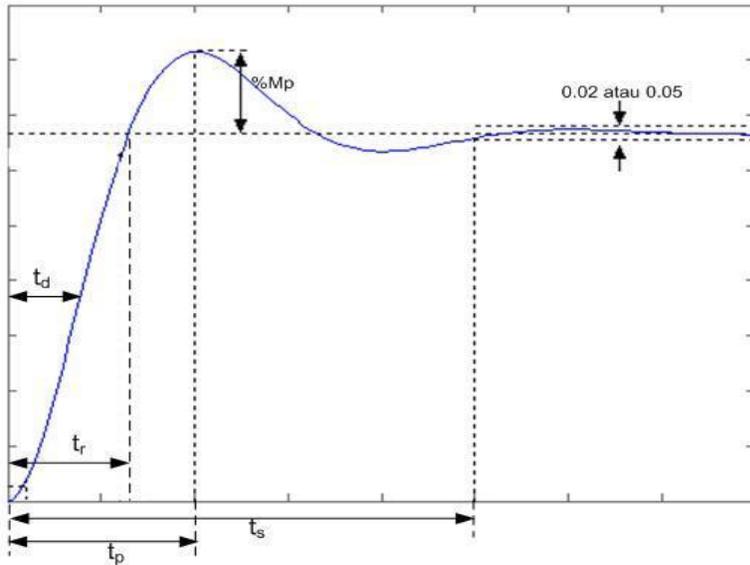
dimana T adalah konstanta waktu dan K merupakan penguatan sistem. Kedua parameter ini menggambarkan perilaku orde satu. Konstanta waktu T berhubungan langsung dengan waktu penetapan (*setting time*) yaitu $t_s = 4T$ (menggunakan kriteria toleransi 2%). Sedangkan penguatan K menyatakan perbandingan antara tanggapan mantap (*steady state*) sistem dengan sinyal masukan berupa sinyal *unit step*.

Dalam merealisasikan sistem orde satu tersebut maka perlu dipilih suatu konfigurasi computer analog yang mengakibatkan kedua parameter, T dan K , dapat diubah-ubah. Perubahan tersebut tergantung pada performansi sistem yang dikehendaki dan perubahan komponen rangkaian yang mewakili besar dari parameter-parameter tersebut tidak saling berpengaruh.

2.4 Sistem Orde Dua

Karakteristik respon transien suatu sistem terhadap masukan *unit step* bergantung pada syarat awal. Respon transien suatu sistem kontrol sering kali menunjukkan suatu osilasi teredam sebelum mencapai keadaan mantapnya. Dalam menentukan karakteristik respons transien suatu sistem kontrol terhadap masukan *unit step*, dicari parameter-parameter (performansi sistem) sebagai berikut:

1. Waktu penetapan (*Setting Time*), t_s : merupakan waktu yang diperlukan kurva respons untuk mencapai dan menetap dalam daerah di sekitar nilai akhir yang ukurannya ditentukan dengan prosentase mutlak dari nilai akhir (biasanya 5% atau 2%).
2. Waktu tunda (*Delay Time*), t_d : merupakan waktu yang diperlukan respons untuk mencapai setengah nilai akhir pada saat lonjakan yang pertama kali.
3. Waktu naik (*Rise Time*), t_r : merupakan waktu yang diperlukan respons untuk naik dari 10 sampai 90%, 5 sampai 95% atau 0 sampai 100% dari nilai akhir. Untuk sistem orde dua teredam kurang (*Underdamped*) digunakan waktu naik 0-100%, dan untuk sistem redaman lebih (*Overdamped*) digunakan waktu naik 10-90%.
4. Waktu puncak (*Peak Time*), t_p : merupakan waktu yang diperlukan respons untuk mencapai puncak lewatan (lonjakan maksimal) yang pertama kali.
5. Lewatan maksimum (*Maximum Overshoot*) M_p : merupakan nilai puncak maksimum kurva respons yang diukur dari satu. Jika nilai keadaan mantap respons tidak sama dengan satu, maka dapat digunakan persen lewatan maksimum.



Gambar 2.7 Kurva Respons Sistem Orde Dua *Underdamped* dengan Masukan *Unit Step*

Fungsi alih loop tertutup dari sistem orde dua diberikan oleh :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2X\omega_n s + \omega_n^2}$$

dengan,

ω_n = frekuensi alamiah tidak teredam

X = rasio peredam sistem

K = penguatan sistem

Untuk merealisasikan sistem orde dua tersebut maka perlu dipilih suatu konfigurasi dari computer analog yang mengakibatkan ketiga parameter, ω_n , x , dan K , dapat diubah-ubah tergantung pada performansi sistem yang dikehendaki. Perubahan parameter-parameter tersebut tidak saling berpengaruh satu sama lain.

2.5 Feedforward (Umpan Balik)

Umpan balik adalah cara dimana sebuah sinyal yang terkait dengan kondisi sebenarnya yang tercapai, diumpamakan kembali untuk memodifikasi sinyal masukan bagi suatu proses. Umpan balik dikatakan *negative* apabila sinyal yang diumpamakan kembali mengurangi nilai masukan. Umpan balik megatif adalah jenis umpan balik yang diperlukan untuk mengontrol sebuah sistem. *Umpan balik positif* terjadi apabila yang diumpamakan kembali bersifat menambahkan nilai masukan (W. Bolton, 2006).

2.6 Sistem Kontrol Rasio

Sistem kontrol rasio digunakan untuk menjaga hubungan antara dua variabel untuk mengontrol variabel ketiga. Sistem kontrol rasio sebenarnya adalah bentuk paling dasar pengendalian *feedforward*. Beban sistem disebut aliran liar (*wild variable*) yang tidak mungkin terkendali, dikontrol secara independen atau dikendalikan oleh kontroler lain yang merespon variabel tekanan, level, temperature, dan aliran (*flow*). Contoh kontrol rasio yang sering digunakan dalam kontrol industri adalah (Malik, 2017: 8)

1. *Burner air/fuel ratio* yaitu mengatur perbandingan aliran udara dan bahan bakar pada burner
2. *Mixing and blending two liquids* yaitu mencampur dua cairan sesuai dengan perbandingannya

2.7 Fungsi Alih

Dalam teori control, fungsi yang disebut “fungsi alih” seringkali digunakan untuk mencirikan hubungan masukan-keluaran dari sistem linier parameter konstan. Konsep fungsi alih hanya digunakan pada sistem linier parameter konstan, walaupun dapat diperluas untuk suatu sistem control nonlinier.

Fungsi alih sistem linier parameter konstan didefinisikan sebagai bandingan dari transformasi Laplace keluaran (fungsi respon) dan transformasi Laplace masukan (fungsi penggerak), dengan anggapan bahwa semua syarat awal adalah nol.

Tinjau sistem linier parameter konstan yang didefinisikan persamaan differensial berikut :

$$a_0y^{(n)} + a_1y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1}\dot{y} + a_ny = b_0x^{(m)} + b_1x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1}\dot{x} + b_mx \quad (n \geq m) \dots\dots\dots(2-1)$$

di mana y adalah keluaran sistem dan x adalah masukan. Fungsi alih dari sistem ini diperoleh dengan mencari transformasi Laplace dari kedua ruas persamaan (6.1), dengan menganggap bahwa semua syarat awal adalah nol atau

$$\text{Fungsi alih} = G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}$$

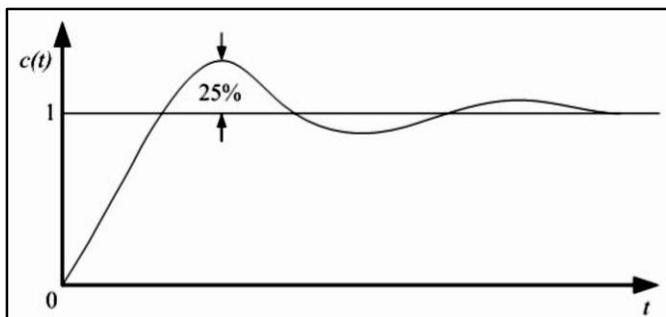
Fungsi alih adalah suatu ekspresi yang merealisasikan keluaran dan masukan suatu sistem linier parameter konstan dalam bentuk parameter sistem dan merupakan sifat dari sistem itu sendiri, tidak bergantung pada fungsi masukan dengan keluaran, meskipun demikian, fungsi alih tidak memberikan informasi mengenai struktur fisik dari sistem.

Dengan menggunakan konsep ini, kita dapat menyatakan dinamika sistem dengan beberapa persamaan aljabar dalam s . pangkat tertinggi s penyebut fungsi alih sama dengan orde suku turunan tertinggi dari keluaran. Jika pangkat tertinggi dari s tersebut adalah n , maka sistem tersebut disebut sistem orde ke n (Ogata, 1997).

2.8 Metode *Tuning* Ziegler Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari *gain* proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan. (Ogata, K., 1997)

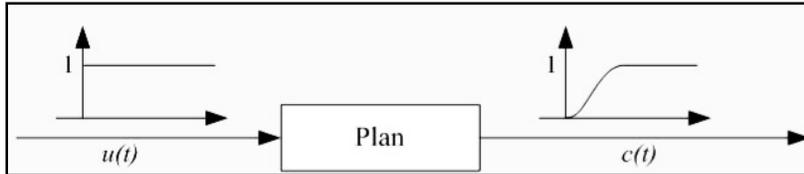
Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada respon *unit step*. Respon *unit step* yang menunjukkan 25% Maximum Overshoot (M_p) Ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.8. Respon *Unit Step* yang Menunjukkan 25% *Maximum Overshoot*

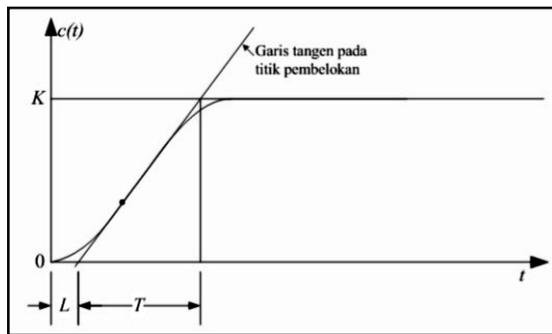
Sumber : (Ogatta, K.,1997)

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plant dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9



Gambar 2.9 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step
Sumber: (Ogata, K. 1997)

Jika dalam plant tersebut terdapat integrator atau *dominan complex-conjugate poles*, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku (Ogata, K., 1997). Respon berbentuk S ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Respon yang Berbentuk S
Sumber: (Ogata, K. 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.14 Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu (Ogata, K. 1997). Persamaan ditunjukkan dalam persamaan 2.7. berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad (2.7)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1

Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari *plant*
Sumber: Ogata, K., 1997

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$