
BAB 5

KOMPONEN DASAR SISTEM KONTROL

5.1 SENSOR DAN TRANSMITER

Sensor: menghasilkan fenomena, mekanik, listrik, atau sejenisnya yang berhubungan dengan variabel proses yang diukur. *Transmitter*: mengubah fenomena ini ke dalam sinyal yang dapat ditransmisikan.

Ada 3 hal penting:

- 1) *Range of the instrument*: harga yang rendah dan tinggi
Misal: sensor/transmitter tekanan yang telah dikalibrasi untuk mengukur tekanan proses antara 20 psig dan 50 psig
- 2) *Span of the instrument*: beda antara harga tinggi dan rendah; dari contoh berarti spannya 30 psi.
- 3) *Zero of the instrument*: harga range yang rendah; dari contoh berarti zeronya 20 psig.

Untuk menggambarkan perilaku sensor/transmitter:

Gain of a sensor/transmitter (rasio antara span keluaran dan span masukan).

Ada 2 jenis gain:

- 1) Gain yang konstan

Contoh: sensor/transmitter tekanan elektronik yang memiliki range 0-200 psig dengan sinyal keluarannya 4-20 mA, maka:

$$K_T = \frac{20 \text{ mA} - 4 \text{ mA}}{200 \text{ psig} - 0 \text{ psig}} = 0,08 \frac{\text{mA}}{\text{psi}}$$

2) Gain sebagai sebuah fungsi

Contoh: sensor tekanan differensial yang digunakan untuk mengukur tekanan differensial (h) yang melalui orifis. Persamaan sinyal keluaran dari transmitter tekanan differensial elektronik:

$$M_F = 4 + \frac{16}{(F_{\max})^2} F^2$$

M_F = sinyal keluaran (mA) dan F = aliran volumetrik

Gainnya:

$$K_T = \frac{d\bar{M}_F}{dF} = \frac{2(16)}{(F_{\max})^2} \bar{F}$$

(Gain sebagai fungsi aliran).

Respon dinamik dari sensor/transmitter lebih cepat dari pada proses, sehingga konstanta waktu dan dead time diabaikan. Fungsi alihnya hanya berisi gain yang murni.

Karena sifatnya dinamik, maka fungsi alih instrument dinyatakan dalam sistem orde-satu atau orde-dua:

$$G(s) = \frac{K_T}{t_s s + 1} \quad \text{atau} \quad G(s) = \frac{K_T}{t^2 s^2 + 2t_x s + 1}$$

5.2 CONTROL VALVE

Control valve merupakan elemen kontrol akhir yang umum. Ia bekerja sebagai sebuah pembatasan yang berubah-ubah (*variable restricton*) dalam pipa proses.

- **Aksi control valve**

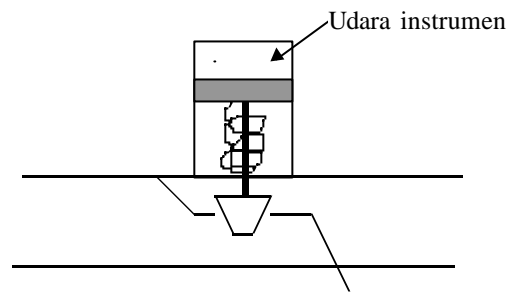
Pertanyaan Tindakan apa yang kita inginkan terhadap valve saat suplai energinya gagal

Jawabannya berkaitan dengan posisi gagal (*fail position*) dari valve.

Pertimbangan utama: *safety*.

Ada 2 jenis control valve berdasarkan suplai udara, yaitu:

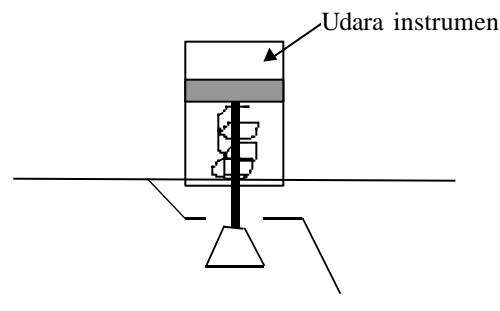
- 1) Fail-open (FO) atau air-to-close (AC)



Gambar 5.1 Control valve jenis FO/AC

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa posisi awal katup jenis ini adalah terbuka atau dengan kata lain, bila tidak ada suplai udara (*fail*) maka katup terbuka (*open*). Untuk menutupnya (*close*) diperlukan suplai udara (*air*).

- 2) Fail-closed (FC) atau air-to-open (AO)



Gambar 5.2 Control valve jenis FC/AO

Gambar 5.2 menunjukkan bahwa posisi awal katup jenis ini adalah tertutup atau dengan kata lain, bila tidak ada suplai udara (*fail*) maka katup tertutup (*close*). Untuk membukanya (*open*) diperlukan suplai udara (*air*).

Pemilihannya tergantung prosesnya, bahkan proses secara keseluruhan.

Contoh:

Proses pemanasan yang baik adalah menggunakan FC valve; tetapi kalau fluida yang dipanasi itu berupa polimer yang kalau pemanasnya mati bisa terjadi solidasi maka yang aman adalah menggunakan FO valve.

- **Control valve sizing**

adalah prosedur perhitungan koefisien aliran valve (C_V); disebut juga *metode C_V* .

Koefisien C_V : jumlah US gallon per menit air yang mengalir melalui valve yang terbuka lebar dengan pressure drop 1 psi yang melewati valve.

Masing-masing manufaktur berbeda-beda dalam menghitung C_V .

- **Seleksi pressure drop disain**

Control valve dapat mengubah laju alir hanya dengan menghasilkan atau menyerap pressure drop (PD) dari sistem. Secara ekonomi PD berarti rugi karena tekanan biasanya berasal dari pompa atau kompresor. Sehingga PD harus rendah. Tapi:

PD rendah \Rightarrow ukuran valve besar \Rightarrow initial cost besar, dan sebaliknya.

Kompromi:

- PD 20-50% dari total PD dinamik keseluruhan sistem pipa
- Aturan yang umum PD 25% atau 10 psi

Aktual: tergantung situasi dan kebijakan perusahaan

- **Karakteristik aliran control valve**

Agar mencapai pengontrolan yang baik loop kontrol seharusnya mempunyai personalitas tetap. Ini berarti seluruh proses (didefinisikan sebagai kombinasi dari sensor/transmitter/unit proses/valve) seharusnya mempunyai gain, konstanta waktu, dan dead time sekonstan mungkin. Sistem yang mempunyai personalitas tetap disebut sistem linear.

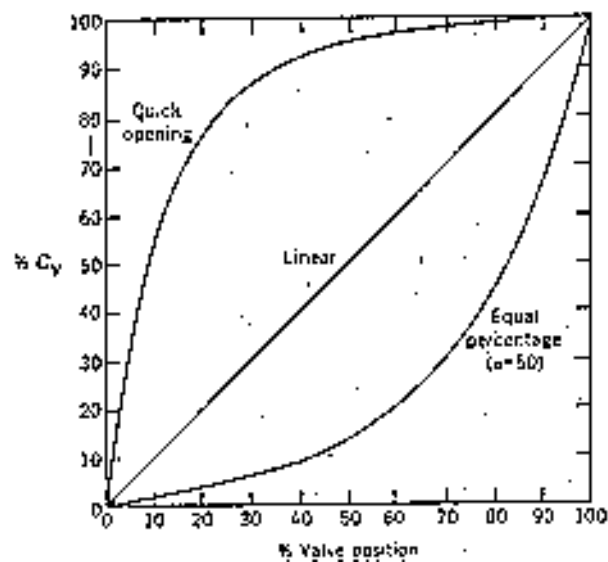
Sifat alamiah kebanyakan proses adalah nonlinear, maka sensor/transmitter/unit proses juga nonlinear. Karakteristik aliran control valve: hubungan antara aliran melalui valve dan posisi valve yang divariasikan dari 0 - 100%.

Ada 2 tinjauan:

- karakteristik aliran inheren (*inherent flow characteristic*): berhubungan dengan pressure drop (PD) yang melewati katup tetap
- ◆ karakteristik aliran terpasang (*installed flow characteristics*): karakteristik yang diobservasi saat katup berada dalam berbagai PD dan perubahan lain dalam sistem.

Gambar 5.3 menunjukkan tiga kurva karakteristik aliran inheren yang umum. Bentuk kurva diperoleh dengan kontur permukaan sumbat katup kemudian ke dudukan (*seat*) katup. Ketiga kurva karakteristik itu adalah:

- ◆ karakteristik aliran linear: aliran secara langsung proporsional dengan jumlah lintasan katup (*valve travel*) atau posisi katup. Lintasan katup 50%, aliran yang melalui katup adalah 50% dari aliran maksimum.
- ◆ karakteristik aliran persentase sama: aliran sangat kecil saat memulai posisi katup, tapi terbuka mendekati posisi buka penuh aliran naik (*rangeability* besar)
- ◆ karakteristik aliran bukaan cepat (*quick opening*): aliran besar pada posisi katup rendah (*rangeability* kecil)



Gambar 5.3 Kurva karakteristik aliran inheren

• Control valve gain

Installed gain dan inherent gain berbeda. Inherent gain untuk valve persentase equal bervariasi terhadap posisi valve, sedangkan untuk valve linear konstan. Installed gain untuk valve persentase equal lebih kontan dari pada valve linear.

5.3 KONTROLER

Kontroler adalah otak lup kontrol. Ia membuat keputusan dalam sistem kontrol dengan melakukan:

1. Membandingkan sinyal proses dari transmiter, variabel yang dikontrol, dengan setpoint-nya.
2. Mengirim sinyal yang cocok ke control valve; atau elemen kontrol akhir lainnya dalam rangka menjaga variabel yang dikontrol pada setpoint-nya.

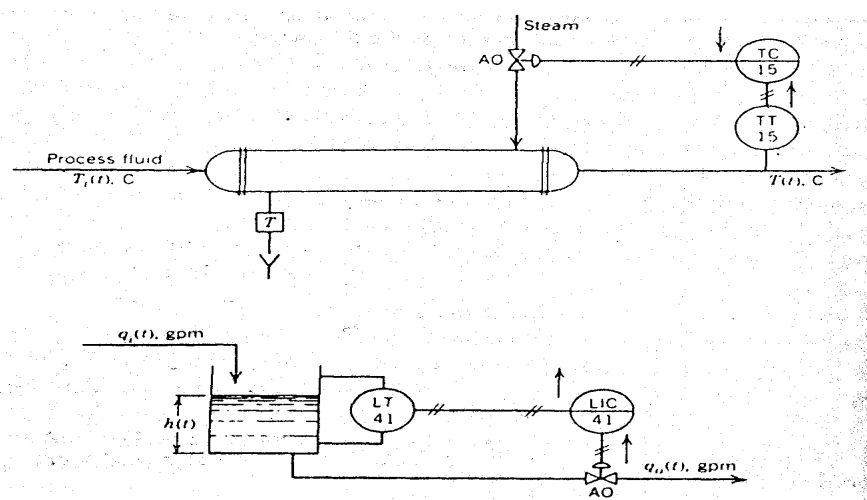
• Aksi Kontroler

Ada 2 jenis aksi kontroler:

1. Aksi berlawanan (*reverse action*) atau turun: bila harga output naik maka kontroler mengurangi sinyal output (udara tekan atau arus)-nya.
2. Aksi searah (*direct action*) atau naik: sebaliknya.

Pada Gambar 5.4 di bawah ini:

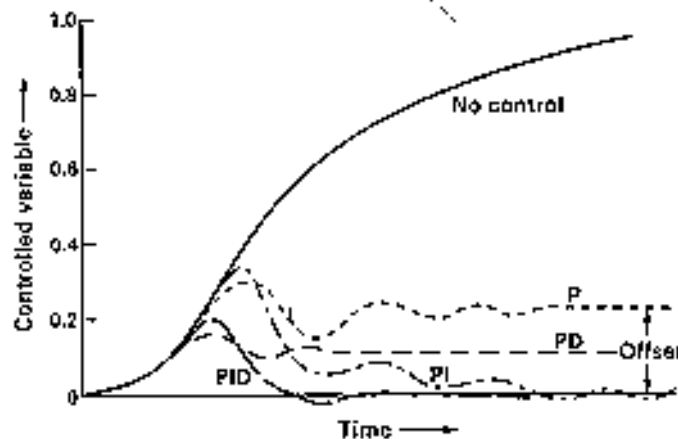
- Pada HE bila digunakan jenis valve AO: aksi berlawanan
- Pada pengontrolan level bila menggunakan valve AO: aksi searah; bila AC atau inputnya yang dikontrol aksinya berlawanan.



Gambar 5.4 Aksi controller pada HE dan pengontrolan level

• Jenis Kontroler

1. Kontroler Proporsional (P).
2. Kontroler Proporsional Integral (PI).
3. Kontroler Proporsional Derivatif (PD).
4. Kontroler Proporsional Integral Derivatif (PID).



Gambar 5.5 Grafik berbagai jenis kontroler

1. Kontroler Proporsional (P).

Karakteristiknya:

- overshoot tinggi
- waktu penetapan besar
- periode osilasi sedang
- adanya offset/droop/steady-state error: beda antara setpoint dan control point (harga controlled variable pada kesetimbangan baru); offset terjadi karena aksi kontrol proporsional dengan *error*.
- gainnya: $K_c \Rightarrow$ sangat mempengaruhi error, makin besar K_c makin kecil offsetnya, meski ada harga K_c maksimum.

- istilah lain gain: proportional band (PB); $PB = \frac{100}{K_c} \Rightarrow K_c$ yang besar sama dengan

PB yang kecil atau tipis

- definisi lain PB: error yang dibutuhkan untuk menghasilkan keluaran tambahan dari kontroler ke control valve

2. Kontroler Proporsional Integral (PI)

- aksi integral bukan untuk mengembalikan ke error nol, tapi menjaga pada harga yang ia meuncil di sepanjang waktu, sehingga ada output yang cukup untuk membuka control valve
- tidak ada offset
- respon lebih lambat, karena error tidak dapat dihilangkan dengan cepat
- harga overshoot paling tinggi
- dipakai bila kelemahan di atas ditoleransi sementara offset tidak
- disebut pula *reset action*
- gainnya: $K_c \left(1 + \frac{1}{t_i s} \right)$ dengan t_i = waktu reset/integral

3. Kontroler Proporsional Derivatif (PD)

- disebut juga *anticipatory/rate control*
- aksi kontrol didasarkan pada mode derivatif yang terjadi hanya saat error berubah
- efeknya mirip dengan proporsional dengan gain yang tinggi
- respon sangat cepat
- overshoot sangat rendah
- ada offset tapi lebih kecil
- gainnya: $K_c \left(e + t_D \frac{de}{dt} \right)$ dengan t_D = waktu derivatif

4. Kontroler Proporsional Integral Derivatif (PID)

- paling baik, tapi paling mahal
- mengkompromi antara keuntungan dan kerugian kontroler di atas
- offset dihilangkan dengan aksi integral, sedangkan aksi derivatif menurunkan overshoot dan waktu osilasi
- digunakan pada sistem yang agak lamban/melempem
- kontroler sering dipasang karena berbagai kepandaian yang dimilikinya dan bukan karena analisis sistem mengindikasikan kebutuhan akan ketiga mode kontrol di atas
- gainnya:

bentuk asal: $Kc \left(1 + \frac{1}{t_I s} + t_D s \right)$

bentuk aktual (menggunakan lead/lag):

$Kc \left(1 + \frac{1}{t_I s} \right) \left(\frac{t_D s + 1}{\alpha t_D s + 1} \right)$ dengan $\alpha = 0,05 - 0,1$