

---

# BAB 1

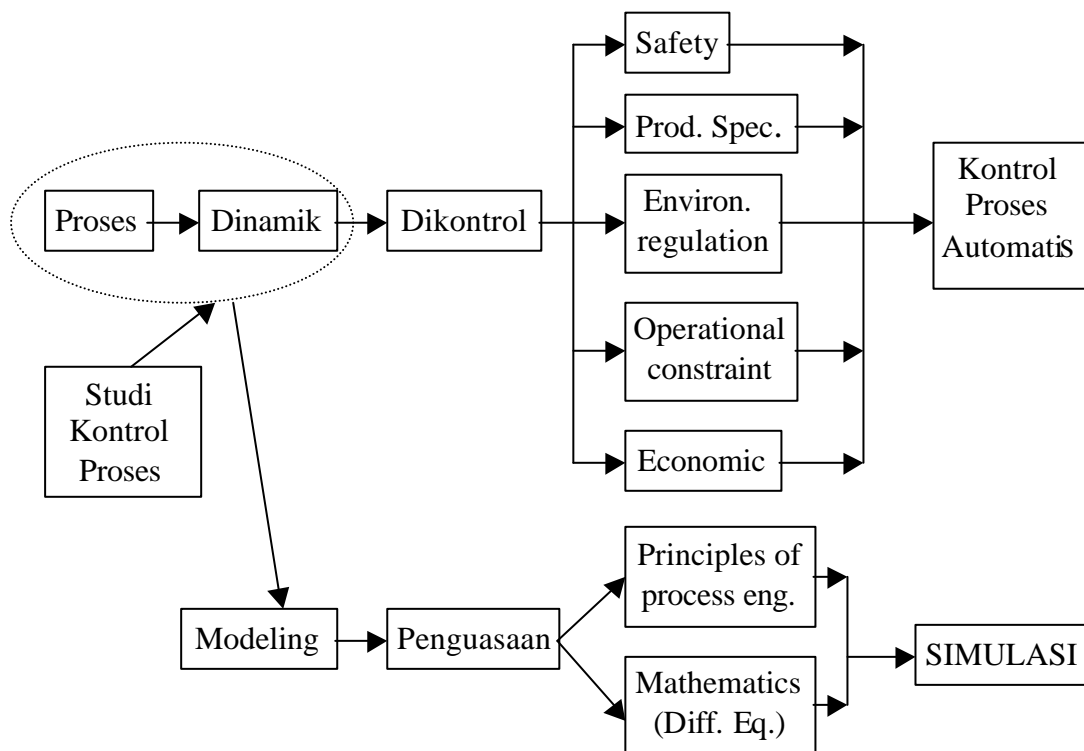
## FILOSOFI DASAR SISTEM KONTROL

---

### 1. 1 Obyektif Sistem Kontrol Automatis

Sebuah pabrik Kimia (*chemical plant*) adalah susunan unit-unit proses (reaktor, pompa, kolom destilasi, absorber, evaporator, tangki, dsb.) yang terintegrasi satu sama lain secara sistematis dan rasional. Obyektif keseluruhan pabrik tersebut adalah untuk mengubah bahan baku tertentu (*input feedstock*) menjadi produk yang diinginkan dengan menggunakan sumber daya energi yang tersedia, dengan cara yang sangat ekonomis.

Selama beroperasi, suatu pabrik harus terpenuhi beberapa kebutuhan yang ditentukan oleh pendisainnya dan kondisi teknik, ekonomi dan sosial yang umum terutama dengan adanya pengaruh-pengaruh luar (gangguan) yang sangat menantang. Di antara kebutuhan-kebutuhan tersebut tergambar pada Gambar 1.1 di bawah ini.



Gambar 1.1 Skema Dasar Sistem Kontrol

Dalam melakukan studi proses penting untuk diketahui bahwa proses yang berlangsung di Industri Kimia sesungguhnya (*real world*) berjalan secara dinamik, yakni variabel-variabel yang menentukan terjadinya proses itu berubah-ubah terhadap waktu. Agar proses itu berjalan sesuai dengan target-target yang ditentukan, maka proses itu harus dikontrol secara otomatis.

Target-target proses yang tersebut antara lain adalah:

1. Terjaminnya keselamatan (*safety*) baik bagi buruh maupun peralatan yang ada.
2. Terjaganya kualitas produk, misalnya komposisi produk, warna, dll. pada keadaan yang kontinyu dan dengan biaya minimum.
3. Proses berlangsung sesuai dengan batasan lingkungan, maksudnya adalah limbah yang dihasilkan oleh proses tersebut tidak melebihi ambang batas lingkungan.
4. Proses berlangsung sesuai dengan batasan-batasan operasinya. Berbagai jenis peralatan yang digunakan dalam sebuah pabrik kimia memiliki batasan (*constraint*) yang inherent untuk operasi peralatan tersebut. Batasan-batasan itu seharusnya terpenuhi di seluruh operasi sebuah pabrik. Contohnya pompa harus menjada *net positive suction head* tertentu; tangki seharusnya tidak *overflow* atau menjadi kering; kolom distilasi seharusnya tidak terjadi banjir (*flood*); suhu pada sebuah reaktor katalitik seharusnya tidak melebihi batas atasnya sehingga katalis menjadi rusak.
5. Ekonomis: Operasi sebuah pabrik harus sesuai dengan kondisi pasar, yakni ketersediaan bahan baku dan permintaan produk akhirnya. Oleh karena itu, harus seekonomis mungkin dalam konsumsi bahan baku, energi, modal, dan tenaga kerja. Hal ini membutuhkan pengontrolan kondisi operasi pada tingkat yang optimum, sehingga terjadi biaya operasi yang minimum, keuntungan yang maksimum, dan sebagainya.

Agar studi proses berhasil dengan baik, maka perlu dilakukan pemodelan (*modeling*), yakni dengan membuat suatu persamaan differensial fungsi waktu (dinamik). Untuk dapat melakukan pemodelan diperlukan penguasaan akan prinsip-prinsip rekayasa proses (prinsip-prinsip termodinamika, aliran fluida, perpindahan panas, proses separasi, proses reaksi, dll.) dan matematika. Model yang sudah dibangun selanjutnya dibuat simulasi komputer.

## **1. 2 Jenis Sistem Kontrol**

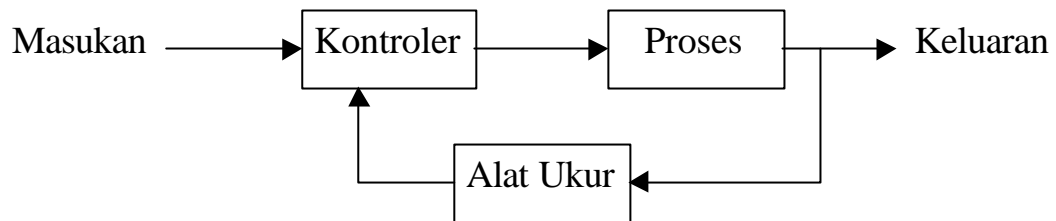
Ada 2 jenis sistem kontrol:

1. Sistem kontrol lup tertutup (*closed-loop control system*).
2. Sistem kontrol lup terbuka (*open-loop control system*).

## ► Sistem Kontrol Lup Tertutup

Jenisnya:

- sistem kontrol berumpan balik (*feedback control system*)
- sistem kontrol inferensial (*inferential control system*)
- sistem kontrol berumpan-maju (*feedforward control system*)

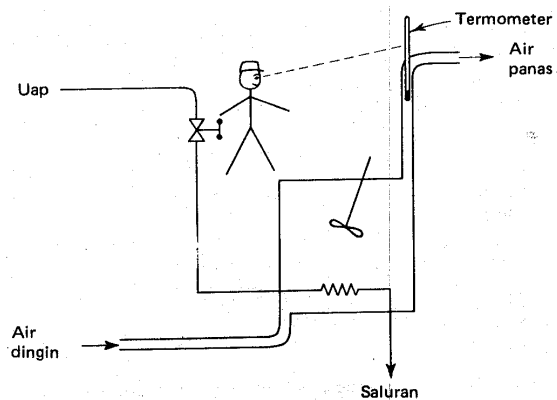


Gambar 1.2 Diagram blok sistem kontrol lup tertutup

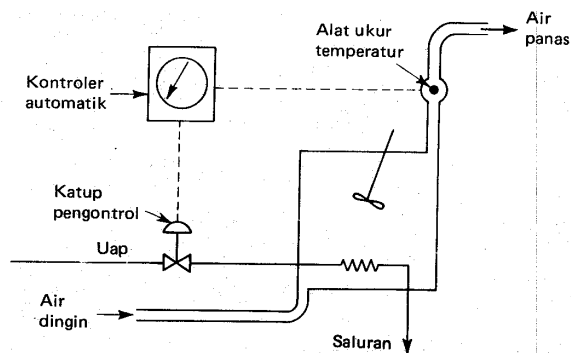
Masukan: harga yang diinginkan

Keluaran: harga yang sebenarnya (respon)

Contoh: Sistem termal



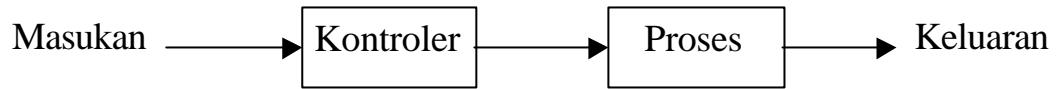
Gambar 1.3 Kontrol manual berumpan-balik sebuah sistem termal



Gambar 1.4 Kontrol otomatis berumpan-balik sebuah sistem termal

Contoh dalam rumah tangga: AC, kulkas, seterika otomatis, pompa otomatis, dll.

### ► Sistem kontrol lup terbuka



Gambar 1.5 Diagram blok sistem kontrol lup terbuka

Faktor penting: WAKTU

#### **Kelebihan:**

- ◇ konstruksinya sederhana dan perawatannya mudah
- ◇ lebih murah
- ◇ tidak ada persoalan kestabilan
- ◇ cocok untuk keluaran yang sukar diukur/tidak ekonomis (contoh: untuk mengukur kualitas keluaran pemanggang roti)

#### **Kelemahan:**

- ◇ gangguan dan perubahan kalibrasi
- ◇ untuk menjaga kualitas yang diinginkan perlu kalibrasi ulang dari waktu ke waktu

### **1. 3 Klasifikasi Kebutuhan Sistem Kontrol**

Ada 3 klasifikasi kebutuhan sistem kontrol secara umum:

1. Menekan pengaruh gangguan (*disturbance/upset*) eksternal.
2. Memastikan kestabilan suatu proses kimia.
3. Optimisasi performansi suatu proses kimia.

### **1. 4 Aspek-aspek Disain Sistem Kontrol**

Variabel (laju alir, suhu, tekanan, konsentrasi, dll) dalam proses dibagi menjadi 2 kelompok:

1. Variabel masukan (*input*):
  - *manipulated (adjustable) variable*
  - *disturbance*:

- ◆ dapat diukur (*measured*): suhu masuk, laju alir masuk, dll
- ◆ tidak dapat diukur (*unmeasured*): komposisi umpan

## 2. Variabel keluaran (*output*):

- dapat diukur (*measured*): suhu produk, laju alir produk, dll.
- tak dapat diukur (*unmeasured*): suhu di tray

Adapun elemen-elemen disain sistem kontrol:

1. Mendefinisikan obyektif pengontrolan
2. Menyeleksi pengukuran
3. Menyeleksi variabel yang dimanipulasikan
4. Menyeleksi konfigurasi kontrol
5. Mendisain kontroler

### 1. Mendefinisikan obyektif pengontrolan

#### **Pertanyaan 1: Apa obyektif operasional yang ingin dicapai?**

Ada beberapa obyektif pengontrolan:

- Memastikan kestabilan proses
- Menekan pengaruh gangguan luar
- Optimisasi kinerja plant secara ekonomis
- Kombinasi dari semua yang di atas

### 2. Menyeleksi pengukuran

Apapun obyektif pengontrolan kita, kita perlu beberapa hal untuk memonitor kinerja proses. Ini dilakukan dengan mengukur harga-harga variabel proses tertentu (suhu, tekanan, konsentrasi, dll).

#### **Pertanyaan 2: Variabel apa yang seharusnya diukur agar bisa memantau kinerja proses?**

Ada 3 jenis pengukuran:

- **pengukuran primer** (*primary measurement*): variabel yang dimonitor secara langsung dan dapat diukur secara kuantitatif
- **pengukuran sekunder** (*secondary measurement*): variabel lain yang dapat diukur secara mudah dalam rangka memonitor variabel keluaran yang tak dapat diukur
- **pengukuran gangguan**: pengukuran gangguan secara langsung dipakai dalam kontrol umpan-maju.

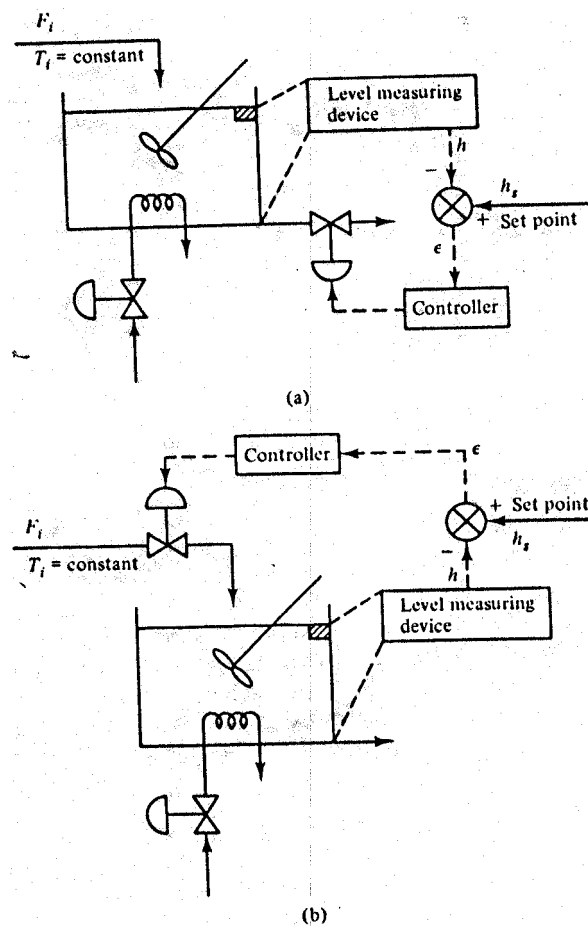
### 3. Menyeleksi variabel yang dimanipulasikan

**Pertanyaan 3:** *Apakah manipulated variable yang digunakan untuk mengontrol proses?*

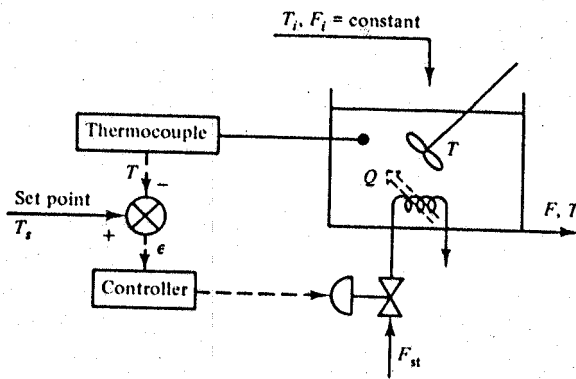
Biasanya dalam sebuah proses kita memiliki sejumlah variabel masukan yang dapat disetel secara bebas. Variabel-variabel manakah yang digunakan sebagai manipulated variable adalah pilihan yang sangat penting karena akan mempengaruhi kualitas aksi pengontrolannya.

### 4. Menyeleksi konfigurasi kontrol

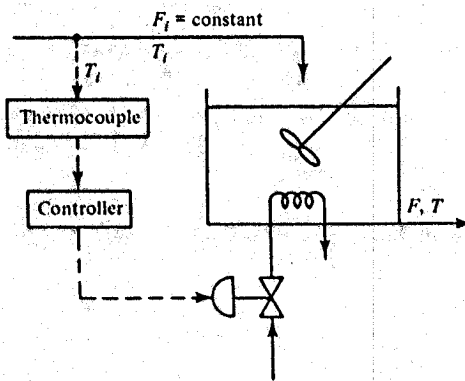
**Konfigurasi/struktur kontrol:** struktur informasi yang digunakan untuk menghubungkan pengukuran-pengukuran yang ada dengan manipulated variable yang tersedia.



Gambar 1.6 Alternatif skema kontrol level-cairan



Gambar 1.7 Kontrol suhu berumpan-balik pada tangki pemanas



Gambar 1.8 Kontrol suhu berumpan-maju untuk stirred tank heater

Ada dua jenis konfigurasi kontrol:

- i) Manipulated variable dengan aliran-aliran informasi yang sama (Gambar 1.6)
- ii) Informasi (pengukuran) melalui manipulated variable yang sama (Gambar 1.7 dan 1.8)

**Pertanyaan 4: Apakah konfigurasi kontrol terbaik untuk situasi proses yang diketahui?**

Berdasarkan berapa keluaran yang dikontrol dan masukan yang dimanipulasikan yang dimiliki dalam proses konfigurasi kontrol dibagi menjadi: sistem kontrol SISO (*single-input, single-output*) dan sistem kontrol MIMO (*multiple-input, multiple-output*).

Ada 3 jenis konfigurasi kontrol yang umum:

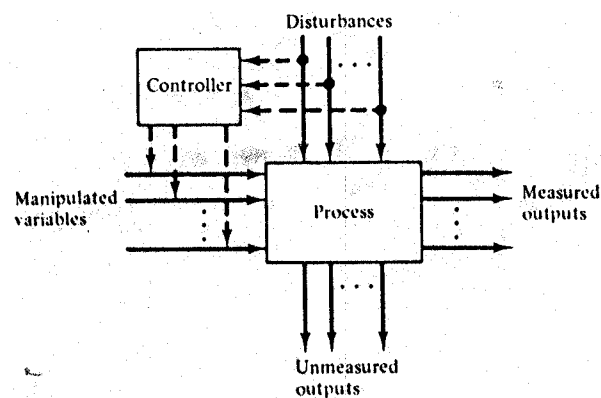
- 1) Konfigurasi kontrol berumpan-balik (Gambar 1.9)

2) Konfigurasi kontrol inferensial: menggunakan pengukuran sekunder untuk controlled variable yang tidak dapat diukur (Gambar 1.10)

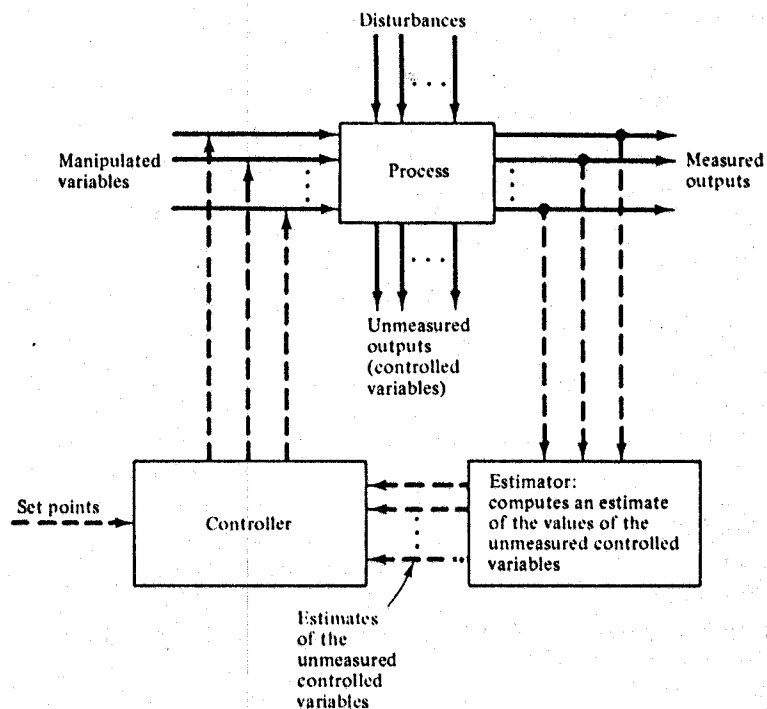
3) Konfigurasi kontrol berumpan-maju (Gambar 1.11)

Keuntungan dan kerugian feedback dan forward adalah:

- Keuntungan feedback : sederhana  
Kerugiannya : aksi setelah controlled variable berubah dari set point
- Keuntungan forward: dapat mengantisipasi perubahan set point  
Kerugiannya : hanya bisa mengantisipasi dua variabel saja, yaitu aliran dan suhu

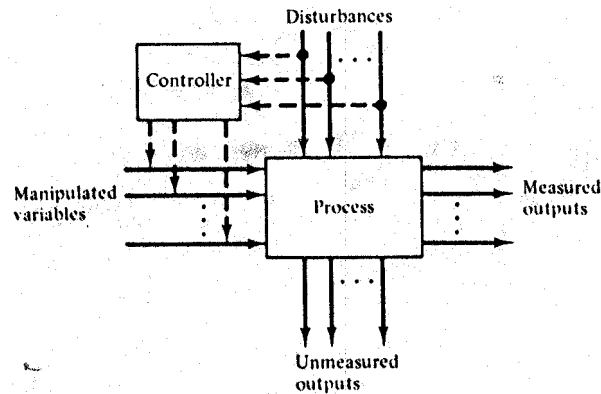


Gambar 1.9 Sistem kontrol berumpan-balik



Gambar 1.10 Sistem kontrol inferensial





Gambar 1.11 Sistem kontrol berumpan-maju

## 5. Mendisain kontroler

Dalam setiap konfigurasi kontrol, kontroler merupakan elemen aktif yang menerima informasi dari pengukuran dan mengambil aksi pengontrolan yang tepat untuk menyetel harga manipulated variable.

**Pertanyaan 5:** *Bagaimana informasi (diambil dari pengukuran) digunakan untuk menyetel harga manipulated variable?*

Jawaban pertanyaan ini merupakan *hukum pengontrolan*, yang diimplementasikan secara otomatis oleh kontroler.

### 1.5 Komponen Sistem Kontrol

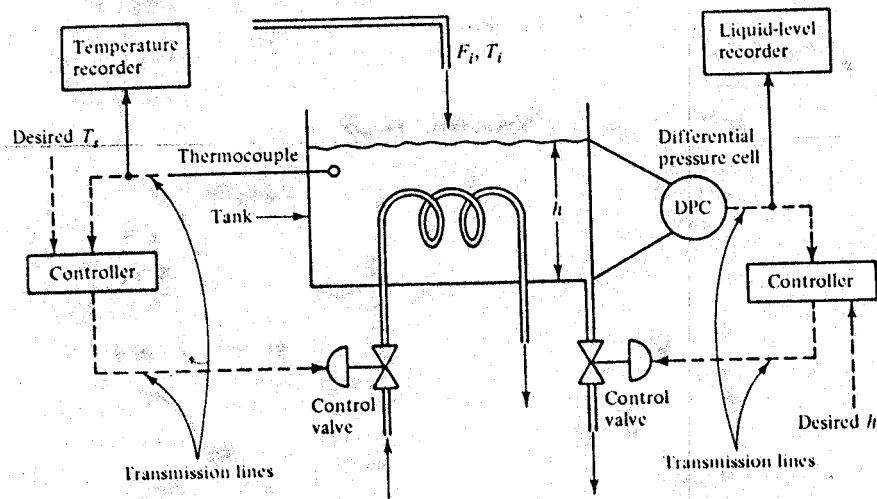
Komponen-komponen dasar sistem pengontrolan adalah sebagai berikut (lihat Gambar 1.12):

1. Proses
2. Sensor, disebut juga elemen primer (*primary element*)  
Contoh:
  - suhu: termokopel atau resistance thermometer
  - laju alir: venturi meter
  - komposisi: gas chromatograph
3. Transduser: untuk mengubah sinyal
4. Transmitter: menguatkan sinyal, disebut juga elemen sekunder
5. Kontroler (otaknya sistem kontrol)

6. Elemen kontrol akhir
7. Recorder

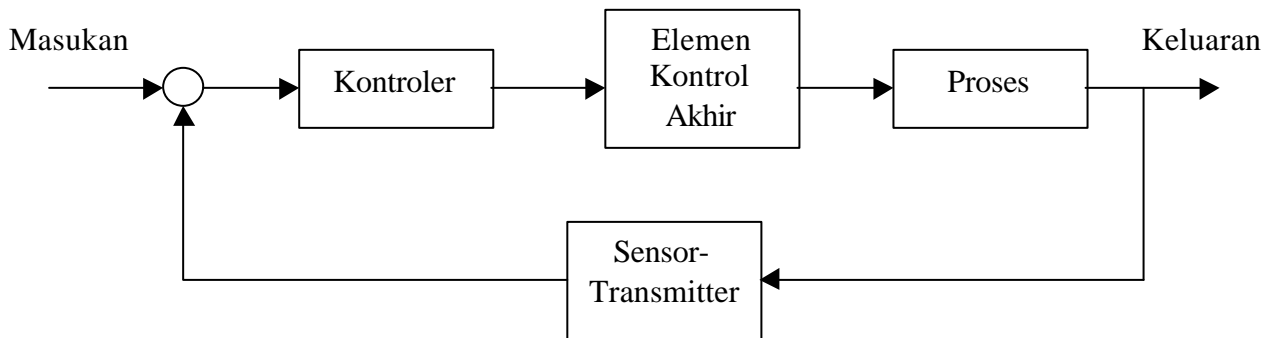
Komponen-komponen di atas melakukan tiga operasi dasar yang *harus* ada di *setiap* sistem kontrol. Operasi-operasi ini adalah:

1. **Measurement (M)** atau pengukuran, yakni mengukur variabel yang dikontrol dengan mengkombinasikan sensor dan transmitter.
2. **Decision (D)** atau keputusan, didasarkan pada pengukuran; kontroler harus memutuskan apa yang harus dilakukan untuk menjaga variabel tersebut pada harga yang diinginkan.
3. **Action (A)** atau aksi, sebagai hasil dari keputusan kontroler, biasanya dilakukan oleh elemen kontrol akhir.



Gambar 1.12 Komponen sistem kontrol pada stirred tank heater

Komponen-komponen yang biasanya digambarkan dalam diagram blok adalah kontroler, elemen kontrol akhir, proses, sensor dan transmitter (lihat Gambar 1.13).

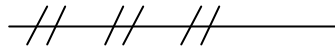


Gambar 1.13 Diagram blok komponen dasar sistem kontrol

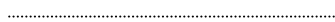
## 1.6 Sinyal Transmisi

Ada tiga jenis sinyal yang digunakan pada industri proses saat ini, yaitu:

1. Sinyal *pneumatic* atau tekanan udara, normalnya 3 – 15 psig. Jarang menggunakan 6 – 30 psig atau 3.0 – 27 psig. Gambar sinyalnya pada gambar P&ID (piping and instrument diagram) adalah

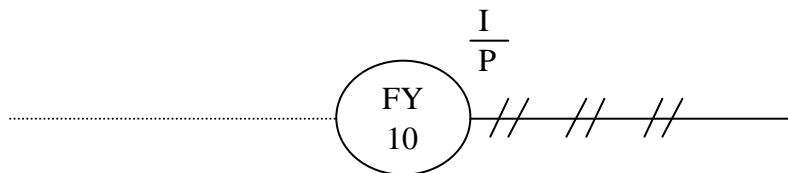


2. Sinyal elektrik (*electric*) atau elektronik, normalnya antara 4 dan 20 mA. Jarang menggunakan 10 – 50 mA atau 1 – 5 V atau 0 – 10 V. Gambarnya:



3. Sinyal digital atau diskret (nol dan satu).

Sering juga diperlukan untuk mengubah dari satu sinyal ke sinyal lainnya. Ini dilakukan oleh *transducer*. Contohnya dari sinyal listrik ke sinyal pneumatik. Ini menggunakan transduser arus (I) dan pneumatik (P) atau I/P (lihat Gambar 1.14).



Gambar 1.14 Transduser I/P

## 1.7 Istilah-istilah Penting

### 1. Controlled variable (variabel yang dikontrol):

Variabel yang harus dijaga atau dikendalikan pada harga yang diinginkan. Contoh: laju alir, komposisi, suhu, level, dan tekanan

### 2. Setpoint:

Harga yang diinginkan dari controlled variable

### 3. Manipulated variable (variabel yang diubah-ubah):

Variabel yang digunakan untuk menjaga controlled variable berada pada setpoint-nya; biasanya berupa laju alir dari aliran tertentu yang masuk atau meninggalkan suatu proses

#### 4. Uncontrolled variable:

Variabel di dalam proses yang tidak bisa dikontrol. Contohnya: suhu dari sebuah tray dalam kolom distilasi

#### 5. Disturbance atau upset (gangguan):

Variabel yang dapat menyebabkan controlled variable berubah dari harga setpoint-nya; biasanya berupa laju alir, suhu, atau komposisi sebuah aliran yang masuk (tapi kadang meninggalkan) suatu proses.

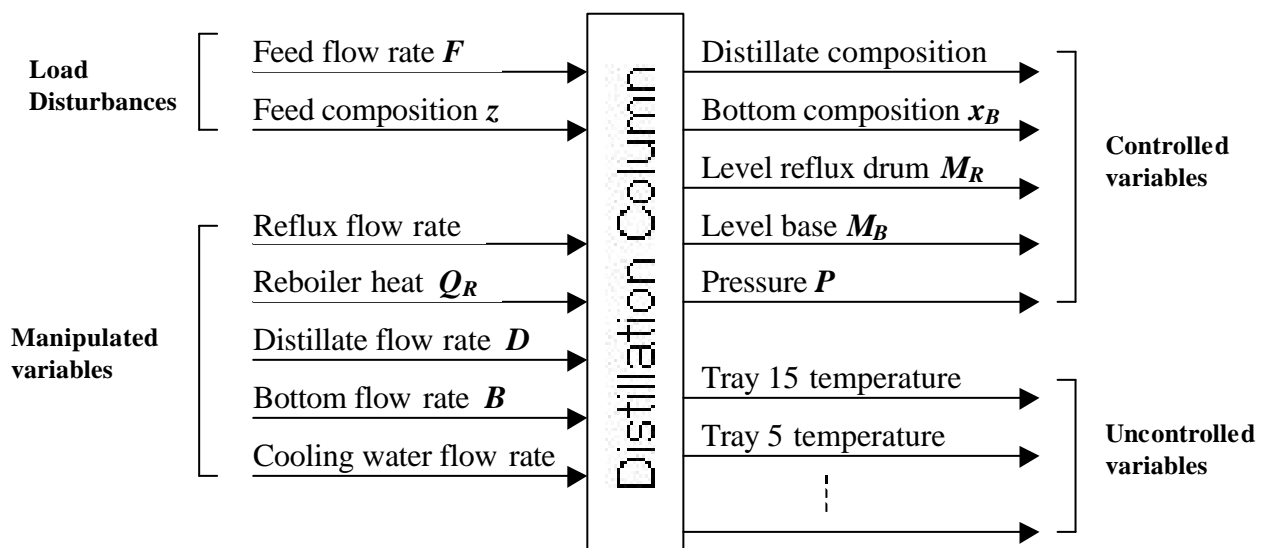
Gangguan dapat diklasifikasikan dan didefinisikan dalam beberapa cara:

a. Bentuk: *step, pulse, impulse, ramp, sinusoidal*, dsb.

b. Lokasi di feedback loop:

- *load disturbance* (perubahan komposisi umpan, suplai tekanan uap air, suhu air pendingin, dsb.); fungsi kontroler: mengembalikan controlled variable pada setpoint-nya dengan perubahan yang tepat pada manipulated variable
- *setpoint disturbance* (perubahannya dapat dibuat, khususnya dalam proses *batch* atau dalam merubah dari satu kondisi ke kondisi lain dalam proses kontinu); fungsi kontroler: mendorong controlled variable mencapai setpoint yang baru

Gambar 1.15 menunjukkan variabel-variabel sistem kontrol dalam sebuah kolom distilasi.



Gambar 1.15 Variabel-variabel sistem kontrol dalam distilasi