

# I

## PENGANTAR SISTEM KENDALI

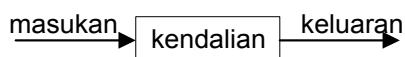
**Deskripsi :** Bab ini memberikan gambaran secara umum mengenai sistem kendali, definisi-definisi, pengertian sistem kendali lingkaran tertutup dan sistem kendali lingkaran terbuka, pengelompokan sistem kendali, prinsip-prinsip sistem kendali serta komponen-komponen sistem kendali.

**Objektif :** Memahami bab ini akan menjadi bekal yang penting untuk memahami sistem kendali secara keseluruhan

### 1.1 Pendahuluan

Sistem kendali merupakan bagian yang terintegrasi dari sistem kehidupan modern saat ini. Sebagai contoh : kendali suhu ruang, mesin cuci, robot, pesawat, dan lain sebagainya. Manusia bukan satu-satunya pembuat sistem kendali otomatis. Justru secara alami telah ada, baik di tubuh manusia itu sendiri maupun di alam semesta. Sebagai contoh: pankreas yang mengendalikan kadar gula dalam darah. Mekanisme berkeringat ketika kepanasan untuk mempertahankan suhu tubuh. Pergerakan mata saat melihat sesuatu. Peredaran seluruh benda di angkasa. Dengan sistem kendali memungkinkan variabel yang ingin dikendalikan dapat mencapai nilai yang diinginkan dengan mekanisme umpan balik dan pengendalian. Dengan sistem kendali memungkinkan adanya sistem yang stabil, akurat, dan tepat waktu. Sistem kendali dapat dirancang melakukan pengendalian secara otomatis. Di industri banyak dijumpai aplikasi sistem ini menggunakan 'Programmable Logic Controller'.

Sistem kendali dapat dikatakan sebagai hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem, yang akan menghasilkan tanggapan sistem yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu sistem fisis, yang biasa disebut dengan kendalian (*plant*).



Gambar 1.1 Diagram Masukan-Keluaran

Masukan dan keluaran merupakan variabel atau besaran fisis. Keluaran merupakan hal yang dihasilkan oleh kendalian, artinya yang dikendalikan, sedangkan masukan adalah yang mempengaruhi kendalian, yang mengatur keluaran. Kedua dimensi masukan dan keluaran tidak harus sama.

## 1.2 Definisi – Definisi

### Beberapa Definisi

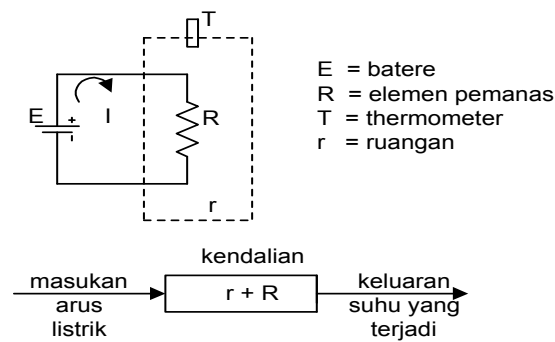
- **Sistem** : kombinasi beberapa komponen yang bekerja secara bersama-sama dan membentuk suatu tujuan tertentu.
- **Proses (alamiah)** : suatu urutan operasi yang kontinu atau suatu perkembangan yang dicirikan oleh urutan perubahan secara perlahan yang terjadi tahap demi tahap dengan cara yang relatif tetap dan memberikan suatu hasil atau akhir.
- **Proses (artifisial)** : operasi yang dilakukan secara berkesinambungan yang terdiri dari beberapa aksi yang dikendalikan atau pergerakan yang secara sistematis diarahkan pada suatu hasil atau akhir.
- **Plant** : dapat berupa bagian suatu peralatan yang berfungsi secara bersama-sama untuk membentuk suatu operasi tertentu.
- **Gangguan** : suatu sinyal yang cenderung mempengaruhi (secara acak) nilai output suatu sistem: gangguan internal dan eksternal.
- **Sistem kendali umpan balik** (*feedback control system*) : sistem kendali yang mempunyai elemen umpan balik, yang berfungsi untuk mengamati keluaran yang terjadi untuk dibandingkan dengan masukannya (yang diinginkan). Sistem kendali kadang dibedakan menjadi dua kelas. Jika tujuan sistem kendali untuk mempertahankan variabel fisik pada beberapa nilai yang konstan dengan adanya gangguan-gangguan, disebut sebagai **pengatur** (*automatic regulating system*). Contohnya adalah sistem kendali suhu dan lain-lain. Jenis yang kedua adalah **sistem kendali posisi** atau **servo mekanisme** (*servomechanism*), yaitu sistem yang digunakan untuk mengendalikan posisi atau pergerakan mekanis, seringkali digunakan untuk menggambarkan sistem kendali dengan variabel fisik yang harus mengikuti atau melacak, dalam fungsi waktu yang diinginkan. Contohnya adalah gerakan lengan robot dan lain-lain.
- **Sistem kendali proses** (*process control system*) : sistem kendali yang umum digunakan pada industri, seperti untuk mengendalikan temperatur, tekanan, aliran, tinggi muka cairan dan lain-lain.
- **Sistem kendali lingkaran terbuka** (*open loop system*) : sistem kendali dimana tidak terdapat elemen yang mengamati keluaran yang terjadi untuk dibandingkan dengan masukannya (yang diinginkan), meskipun menggunakan sebuah pengendali (*controller*) untuk memperoleh tanggapan yang diinginkan.
- **Sistem kendali lingkaran tertutup** (*closed loop system*): sebutan lain dari sistem kendali dengan umpan balik.

## 1.3 Sistem Lingkaran Terbuka VS Sistem Lingkaran Tertutup

Sistem kendali lingkaran terbuka menggunakan actuator (*actuating device*) secara langsung untuk mengendalikan proses tanpa melalui umpan balik.

### Contoh : Sistem kendali suhu ruang

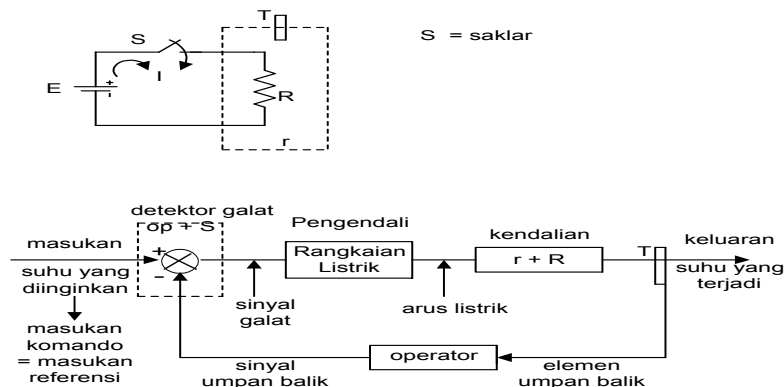
Misalkan di daerah dingin, diinginkan mengatur suhu ruangan dengan menggunakan pemanas (*heater*). Pemanas dapat dibuat dari suatu rangkaian listrik yang berintikan adanya resistor R. Bila resistor R dialiri arus listrik, akan terjadi disipasi daya ( $I^2R$ ), yang menghangatkan ruangan r.



Gambar 1.2 Diagram Blok Sistem Kendali Suhu Ruang Lingkup Terbuka

Terlihat bahwa keluaran tidak mempengaruhi masukan. Sistem ini disebut sistem kendali lingkup terbuka.

Sistem kendali lingkup tertutup menggunakan pengukuran keluaran (*actual response*), yang dijadikan umpan balik untuk dibandingkan dengan nilai referensi (*desired response*), sehingga menghasilkan galat. Dengan galat inilah pengendali dapat memberikan sinyal kendali agar keluaran proses mencapai kondisi yang diinginkan. Dengan contoh yang sama pada sistem lingkup terbuka ditambahkan saklar  $S$  yang akan membatasi aliran listrik  $I$ . Bila suhu ruangan lebih kecil atau sama dengan suhu yang diinginkan maka saklar harus dalam keadaan tertutup, sehingga arus mengalir dan ruangan menghangat. Bila suhu ruangan lebih besar dari suhu yang diinginkan, maka saklar  $S$  harus dibuka untuk memutuskan aliran arus listrik, sehingga ruangan tidak bertambah panas. Untuk itu diperlukan seorang operator yang senantiasa mengamati penunjukkan thermometer  $T$ . Operator ini berfungsi sebagai elemen umpan balik dan juga sebagai *error detector* (bersama-sama dengan saklar  $S$ ).



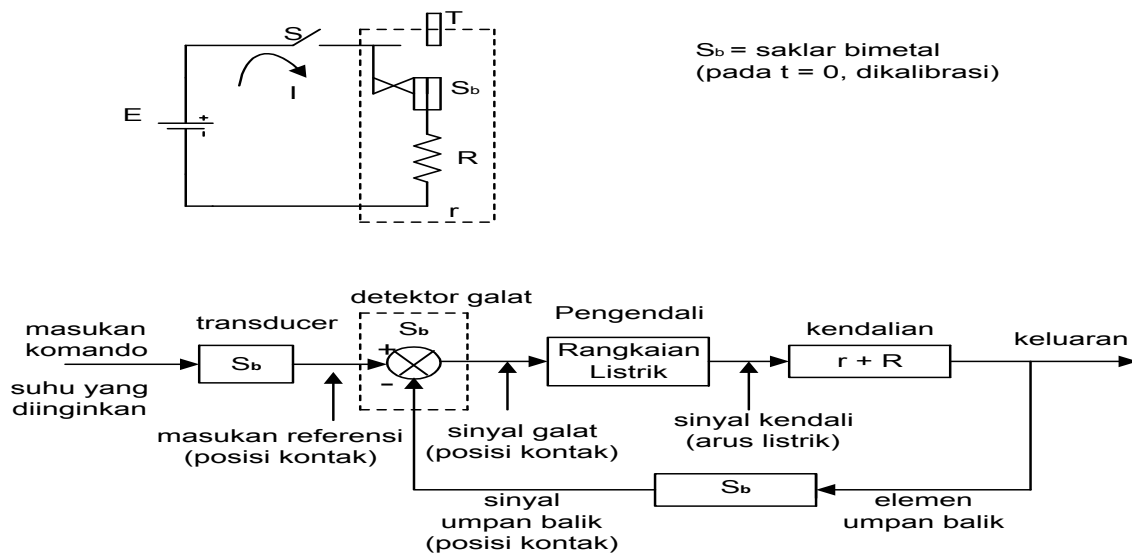
Gambar 1.3 Diagram Blok Sistem Kendali Suhu Ruang Lingkup Tertutup Manual

**Operator** berfungsi mengamati keluaran, lalu mengevaluasi (membandingkan keluaran dan masukannya) dan membangkitkan sinyal penggerak yang akan menggerakkan sistem sehingga keluaran seperti yang diinginkan. Terlihat bahwa keluaran mempengaruhi masukan (melalui operator). Sistem ini disebut sistem kendali lingkup tertutup. Beberapa istilah yang sering dipakai sebagai berikut.

- Keluaran sistem merupakan variabel yang diatur (*controlled variable*).
- Masukan sistem terdiri dari

- Masukan komando (*command input*) = masukan informatif = masukan fiktif, yang oleh masukan transduser diubah (bila perlu) menjadi masukan referensi (*reference input*)
- Masukan referensi = masukan fisis bersama-sama dengan sinyal umpan balik akan menghasilkan sinyal penggerak (sinyal galat).
- c. Sinyal galat merupakan masukan dari pengendali (*controller*).
- d. Masukan kendalian dihasilkan oleh pengendali.
- e. Elemen umpan balik mengamati keluaran dan mengumpanbalikkan ke masukan, yaitu dengan adanya sinyal umpan balik.

Bila hanya saklar  $S$  yang dipasang, maka masih diperlukan seorang operator yang senantiasa harus mengamati penunjukan termometer. Sistem ini meskipun sudah merupakan sistem kendali lingkaran tertutup tetapi masih manual. Dengan menambahkan sebuah saklar otomatis (saklar bimetal,  $S_b$ ) yang telah dikalibrasi sesuai dengan suhu yang diinginkan maka bila suhu ruangan lebih kecil atau sama dengan yang diinginkan maka saklar  $S_b$  dalam keadaan tertutup dan arus listrik mengalir memanaskan ruangan sedangkan bila suhu ruangan lebih besar dari suhu yang diinginkan maka saklar  $S_b$  akan terbuka dan arus listrik terputus. Sistem kendali lingkaran tertutup ini sudah bekerja secara otomatis. Lihat Gambar 1.4 berikut



Gambar 1.4 Diagram Blok Sistem Kendali Suhu Ruangan Lingkaran Tertutup Otomatik

## 1.4 Pengelompokan Sistem Kendali

Secara umum sistem kendali dapat dikelompokkan sebagai berikut

### 1.4.1 Dengan Manual dan Otomatis

Pengendalian secara manual adalah pengendalian yang dilakukan oleh manusia yang bertindak sebagai operator sedangkan pengendalian secara otomatis adalah pengendalian yang dilakukan oleh mesin-mesin/peralatan yang bekerja secara otomatis dan operasinya dibawah pengawasan manusia. Contoh pengendalian secara manual banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari seperti pada pengaturan suara radio, televisi, pengaturan cahaya layar televisi, pengaturan aliran air melalui kran dan lain-lain sedangkan

pengendalian otomatis banyak ditemui dalam proses industri, pengendalian pesawat terbang, pembangkitan tenaga listrik dan lain-lain.

#### **1.4.2 Jaringan Terbuka dan Jaringan Tertutup**

Sistem kendali dengan jaringan tertutup adalah sistem pengendalian dimana besaran keluaran memberikan efek terhadap besaran masukan sehingga besaran yang dikendalikan dapat dibandingkan terhadap harga yang diinginkan melalui alat pencatat. Selanjutnya perbedaan harga yang terjadi antara besaran yang dikendalikan dan penunjukkan alat pencatat digunakan sebagai koreksi pada gilirannya akan merupakan sasaran pengendalian. Sistem kendali dengan jaringan terbuka adalah sistem pengendalian dimana keluaran tidak memberikan efek terhadap besaran masukan sehingga variabel yang dikendalikan tidak dapat dibandingkan terhadap harga yang diinginkan.

Aplikasi sistem jaringan terbuka dan tertutup ditemui dalam kehidupan sehari-hari sebagai berikut : jika seseorang mengendarai mobil maka jalur kecepatan beserta percepatan kendaraan tersebut dapat ditentukan dan dikendalikan oleh pengendara dengan cara mengamati lalu kondisi lalu lintas dan mengendalikan setir, rem dan alat-alat pengendali lainnya. Jika pengendara ingin memelihara kecepatan pada suatu harga yang konstan (sebagai keluaran) maka pengendara dapat mengaturnya melalui pedal percepatan (gas) dan harga ini secara tepat dapat diperoleh dengan mengamati penunjukkan speedometer. Dengan mengamati besarnya keluaran tersebut setiap saat berarti akan diberikan diberikan suatu informasi terhadap masukan (dalam hal ini pengendara dan pedal gas) sehingga jika terjadi penyimpangan terhadap kecepatan, pengendara dapat mengendalikannya kembali ke harga seharusnya. Contoh tersebut merupakan contoh sistem kendali dengan jaringan tertutup dan akan berubah menjadi sistem kendali dengan jaringan terbuka jika kendaraan tersebut tidak dilengkapi dengan speedometer.

#### **1.4.3 Kontinu (analog) dan diskontinu (diskrit)**

- a. Untuk pengendalian sistem kendali jenis kontinu (analog) ini dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu
  - Proporsional. Pada pengendalian proporsional ini dimana keluaran sebanding dengan penyimpangan. Contohnya pengendalian uap melalui katup, pengendalian transmiter tekanan dan lain-lain
  - Integral. Pada pengendalian integral ini dimana keluaran selalu berubah-ubah selama terjadi deviasi dan kecepatan perubahan keluaran tersebut sebanding dengan penyimpangan. Contohnya pengendalian level cairan dalam tangki, pengendalian sistem tekanan dan lain-lain
  - Differensial. Pengendalian integral jarang dipakai secara tersendiri tetapi digabungkan dengan jenis proporsional untuk menghilangkan keragu-raguan jika jenis proporsional ini memerlukan karakteristik yang stabil.
- b. Untuk pengendalian sistem kendali jenis diskontinu (diskrit) dapat dibagi menjadi beberapa bagian :
  - Pengendalian dengan dua posisi. Contohnya relai, termostat, level, saklar ON-OFF dan lain-lain.
  - Pengendalian dengan posisi ganda. Contohnya saklar pemilih (selector switch). Keuntungannya cenderung mengurangi osilasi

- Pengendalian Floating. Posisi yang relatif tidak terbatas, dalam jenis ini, pemindahan energi dapat dilakukan melalui salah satu daripada beberapa kemungkinan yang ada.

#### 1.4.4 Servo dan Regulator

Regulator adalah bentuk lain daripada servo. Istilah ini digunakan untuk menunjukkan sistem dalam keadaan mantap yang konstan untuk sinyal masukan yang konstan. Perbedaan utama adalah bahwa pada regulator diberikan sinyal tambahan sehingga akan menghasilkan keluaran yang berbeda dengan servo. Istilah regulator diperoleh dari pemakaian mula-mula yaitu sebagai pengendali kecepatan dan tegangan. Pada servo diinginkan :  $r(t) \approx c(t) \rightarrow 1$  sedangkan pada regulator diinginkan  $\frac{r(t) - c(t)}{u(t)} \rightarrow 0$  sedangkan pada regulator efek gangguan ini perlu dikompensasi agar

harga keluaran tetap sama dengan masukan. Dari persamaan di atas  $\frac{r(t) - c(t)}{u(t)} \approx 0$  sehingga akan diperoleh adalah  $r(t) - c(t) \approx 0$  atau  $r(t) = c(t)$

#### 1.5 Prinsip-Prinsip Disain Sistem Kendali

**Persyaratan umum sistem kendali.** Setiap sistem kendali harus bersifat stabil. Ini merupakan persyaratan utama. Di samping kestabilan mutlak, suatu sistem kendali harus mempunyai kestabilan relatif yang layak. Suatu sistem kendali juga harus mampu memperkecil kesalahan sampai nol atau sampai pada suatu harga yang dapat ditoleransi.

**Persoalan dasar dalam disain sistem kendali.** Pada kondisi praktis, selalu ada beberapa gangguan yang bekerja pada plant. Gangguan ini mungkin berasal dari luar atau dari dalam mungkin bersifat acak dan mungkin pula dapat diramalkan. Kendalian harus memperhitungkan setiap gangguan yang akan mempengaruhi variabel keluaran.

**Analisis.** Analisis sistem kendali adalah penelitian pada kondisi tertentu dimana performansi sistem yang model matematikanya diketahui.

**Disain.** Disain sistem kendali adalah proses pencarian suatu sistem yang dapat menyelesaikan tugas yang diberikan. Pada umumnya prosedur disain tidak diperoleh secara langsung tetapi memerlukan metoda coba-coba

**Sintesis.** Sintesis adalah mencari suatu sistem dengan prosedur langsung yang akan bekerja menurut cara tertentu. Biasanya prosedur semacam ini bersifat matematis dari awal sampai akhir proses disain.

**Pendekatan dasar dalam disain sistem kendali.** Pendekatan dasar dalam disain setiap sistem kendali praktis perlu melibatkan metoda coba-coba. Sintesis sistem kendali linier secara teoritis dapat dilakukan dan secara matematis, desainer dapat menentukan komponen-komponen yang diperlukan untuk mencapai sasaran yang diberikan. Meskipun demikian, dalam praktek mungkin sistem dibatasi oleh beberapa kendala atau sifat non-linier. Di samping itu, karakteristik komponen mungkin tidak dapat diketahui dengan tepat. Jadi selalu diperlukan prosedur coba-coba.

## 1.6 Komponen-Komponen Sistem Kendali

Sesuai dengan fungsi pengendalian secara menyeluruh maka komponen-komponen sistem pengendalian dibagi dalam 4 bahagian yaitu

### a. Sensor dan Transduser

Sensor digunakan sebagai elemen yang langsung mengadakan kontak dengan yang diukur sedangkan transduser berfungsi untuk mengubah besaran fisis yang diukur menjadi besaran fisis lainnya. Pada umumnya adalah mengubah besaran-besaran fisis menjadi besaran listrik seperti tekanan, temperatur, aliran, posisi dan lain-lain

### b. *Error Detector*

Mengukur *error* (kesalahan) yang terjadi antara keluaran aktual dan keluaran yang diinginkan.

### c. Penggerak

Alat ini berfungsi untuk mengendalikan aliran energi ke sistem yang dikendalikan. Alat ini disebut juga elemen pengendali akhir misalnya motor listrik, katup pengendali, pompa, silinder hidrolik dan lain-lain. Elemen keluaran ini harus mempunyai kemampuan untuk menggerakkan beban ke suatu harga yang diinginkan.

### d. Penguat

Penguat ini terbagi atas 2 bahagian yaitu penguat daya dan penguat tegangan. Penguat daya dibutuhkan karena hampir dalam semua kejadian daya dari "*error detector*" tidak cukup kuat untuk menggerakkan elemen keluaran sedangkan penguat tegangan biasanya banyak terdapat pada op-amp. Rangkaian ini dapat melakukan operasi-operasi matematis seperti penjumlahan, integrasi, differensiasi dan lainnya.

## 1.7 Rangkuman

Sistem kendali telah memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Peranan sistem kendali meliputi semua bidang kehidupan. Dalam peralatan, misalnya proses pada industri pesawat terbang, peluru kendali, pesawat ruang angkasa, dan lain-lain. Sedangkan dalam bidang non teknis meliputi bidang biologi, ekonomi, sosial, kedokteran, dan lain-lain. Sistem kendali yang semakin berkembang dapat meningkatkan kinerja sistem, kualitas produksi, dan menekan biaya produksi. Sistem kendali dapat dikatakan sebagai hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem, yang akan menghasilkan tanggapan sistem yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu sistem fisis, yang biasa disebut dengan kendalian. Masukan dan keluaran merupakan variabel atau besaran fisis. Keluaran merupakan hal yang dihasilkan oleh kendalian, artinya yang dikendalikan, sedangkan masukan adalah yang mempengaruhi kendalian, yang mengatur keluaran. Kedua dimensi masukan dan keluaran tidak harus sama.

