

PERTEMUAN-01

PENGANTAR

DASAR SISTEM KENDALI

Umi Mardika, M.T.

OUTLINE

I. KONSEP SISTEM KENDALI

1. DEFINISI SISTEM
2. DEFINISI SISTEM KENDALI/CONTROL
3. MASA PERKEMBANGAN SISTEM KONTROL
4. SEJARAH PERKEMBANGAN SISTEM Kontrol (Kendali)
5. Aplikasi Sistem Kontrol
6. Alasan utama membangun sistem kontrol
7. Keuntungan Sistem Kontrol
8. Pengukuran Kinerja Sistem Kontrol
9. Elemen system Kontrol
10. Definisi dan Istilah dalam sistem Kontrol

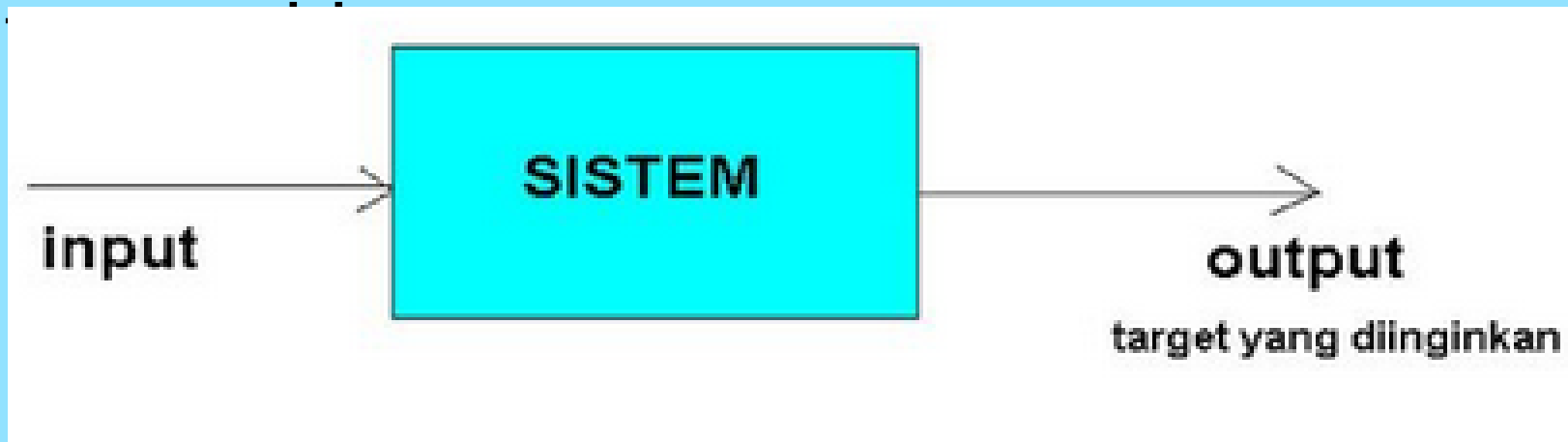
II. KLASIFIKASI SISTEM KONTROL/ KENDALI

III. Konsep Umpan Balik (Feedback)

I. KONSEP SISTEM KENDALI

1. DEFINISI SISTEM

- Sistem merupakan sekelompok komponen–komponen yang saling bekerjasama satu sama lain untuk melakukan suatu proses sedemikian rupa agar target / sasaran yang hendak dicapai



DEFINISI SISTEM

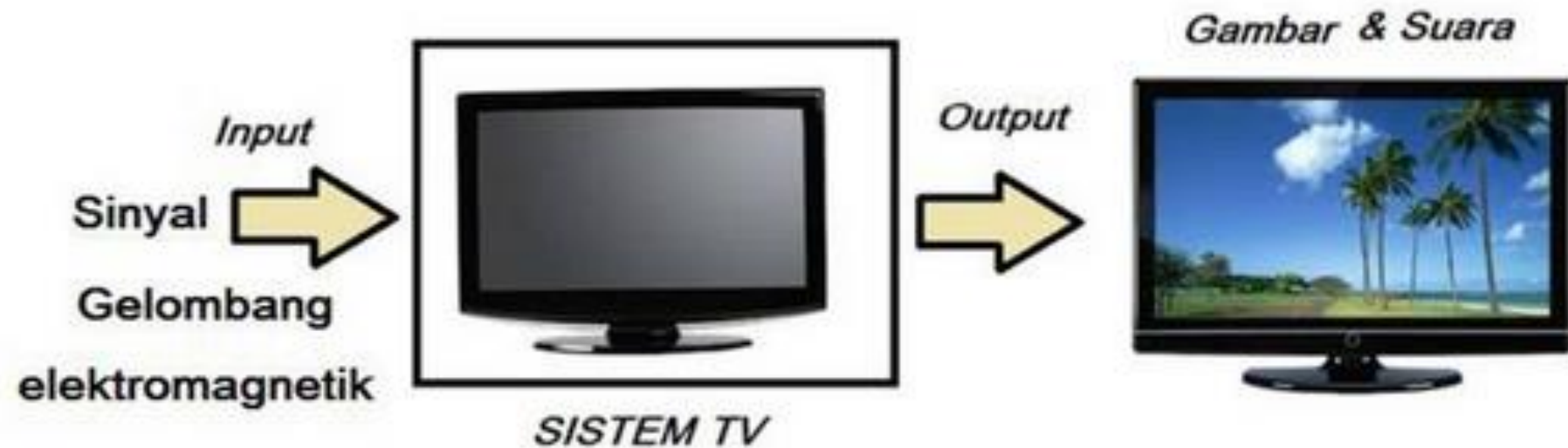
SISTEM MOBIL



Komponen-komponen Mobil

DEFINISI SISTEM

SISTEM pesawat TV



Komponen-komponen TV

DEFINISI SISTEM

Sistem PLTU Batu bara



2. Definisi Sistem Kendali/Kontrol

- Sistem kendali atau kontrol adalah suatu susunan komponen fisik yang terhubung atau terkait sedemikian rupa sehingga dapat memerintah, mengarahkan, atau mengatur diri sendiri atau sistem lain.
- Sistem kendali terdiri dari sub-sistem dan proses (atau *plants*) yang disusun untuk mendapatkan keluaran(output) dan kinerja yang diinginkan dari input yang diberikan



Gambar 5. Deskripsi sederhana sistem kendali

3. Masa perkembangan Teori Kontrol

- Terdapat beberapa teori kontrol yang dikembangkan oleh para ahli, meliputi:
 1. **Teori kontrol Klasik** (*classical control theory* atau *conventional control theory*). Teori klasik didasarkan atas respon frekuensi (frequency-response) ataupun menggunakan Metode tempat kedudukan akar (root-locus methods)
 2. **Teori kontrol Modern** (modern control theory); Teori kontrol Modern didasarkan pada analisa pada domain waktu dari sistem persamaan differensial . Teori ini menjadikan sistem kontrol menjadi lebih sederhana, karena teori ini didasarkan atas sistem kontrol aktual, namun kontrol modern ini menghasilkan sistem yang tidak stabil.
 3. **Teori Kontrol robust** (robust control theory). Menghasilkan sistem yang stabil, namun sistem ini memputuhkan pemodelan matematika yang lebih kompleks.
- Pada kuliah ini kita hanya akan membahas teori kontrol klasik dan modern saja, sedangkan untuk kontrol robust merupakan tingkat lanjutan pada kuliah berikutnya.

4. SEJARAH PERKEMBANGAN SISTEM PENGATURAN (Kontrol/Kendali)

- **Abad ke-18:** Governor Sentrifugal untuk mengendalikan kecepatan mesin uap yang dibuat oleh James Watt. 1922: Minorsky membuat pengendali otomatis untuk pengemudian kapal dan cara menentukan kestabilan dari persamaan diferensial yang melukiskan sistem.
- **1932:** Nyquist mengembangkan prosedur sederhana untuk menentukan kestabilan sistem loop tertutup pada basis respon loop terbuka terhadap masukan tunak “steady state” sinusoida.
- **1934:** Hazen memperkenalkan servomekanisme relay untuk sistem kontrol posisi yang mampu mengikuti dengan baik masukan yang berubah.
- **1940-an:** Metode respon frekuensi memungkinkan merancang sistem kontrol linier berumpan balik yang memenuhi persyaratan performansi.
- **1950:** Metode tempat kedudukan akar (root-locus methods) dalam disain sistem kontrol benar-benar telah berkembang.

SEJARAH PERKEMBANGAN SISTEM PENGATURAN (Kontrol/Kendali)

- **Perkembangan teori kontrol klasik;** Metoda Repons Frekuensi dan Tempat Kedudukan Akar (root-locus methods), yang merupakan inti **teori kontrol klasik**, akan membawa kita ke sistem yang stabil dan memenuhi persyaratan performansi yang acak.
- **1960: Teori kontrol modern** telah dikembangkan untuk mengatasi bertambah kompleksnya “plant” modern dan persyaratan yang ketat pada ketelitian, kinerja dan biaya untuk kebutuhan militer, ruang angkasa dan industri.
- **Komputer elektronik analog**, digital dan hibrid digunakan pada perhitungan kompleks dalam rancangan sistem kontrol dan pengoperasian sistem kontrol.
- **Perkembangan Teori Kontrol Modern** menuju pada kontrol optimal untuk sistem deterministik dan stokastik, maupun kontrol adaptif dan kontrol dengan penalaran (learning control).
- **Penerapan teori kontrol modern** dalam bidang biologi, ekonomi, kedokteran dan sosiologi sekarang banyak dilakukan.

5. Aplikasi Sistem kendali

Rumah Tangga

- Sistem Pendingin Ruangan
- Mesin Cuci
- Lemari es

Otomotif

- Cruise Control (kontrol Pelayaran)
- Active Suspension
- ABS
- ESP

Lalu lintas Udara

- Autopilots
- Climate Control

Proses Industri

- Kendali Temperatur
- Kendali Aliran
Kendali Level
- Kendali Tegangan dan Frekuensi

Mechatronics

- Servomekanisme
- CD Player
- Robots
- Mesin-mesin Produksi

6. Alasan utama membangun sistem kontrol

- 4 alasan utama membangun sistem kontrol :
 1. Kekuatan amplifikasi (*Power amplification*)
 2. Pengendali jarak jauh (*Remote control*)
 3. Kenyamanan bentuk input (*Convenience of input form*)
 4. Kompensasi atas gangguan (*Compensation for disturbances*)

7. Keuntungan Sistem Kontrol

- Dengan sistem kontrol
 - dapat memindahkan peralatan besar dengan presisi yang tidak mungkin dilakukan secara manual
 - bisa mengarahkan antena besar ke jangkauan terjauh di alam semesta untuk menangkap sinyal radio yang redup; krn mengendalikan antena dengan tangan tidak mungkin.
 - lift membawa penumpang dengan cepat ke lantai tujuan, secara otomatis berhenti di lantai yang diinginkan

8. Pengukuran Kinerja Sistem Kontrol

- Untuk menentukan kinerja dari Sistem Kontrol, dapat diketahui dari respon sistem tersebut, terdapat 2 jenis respon waktu system kontrol yaitu:

1. ***Respon Transient (sementara/peralihan)***

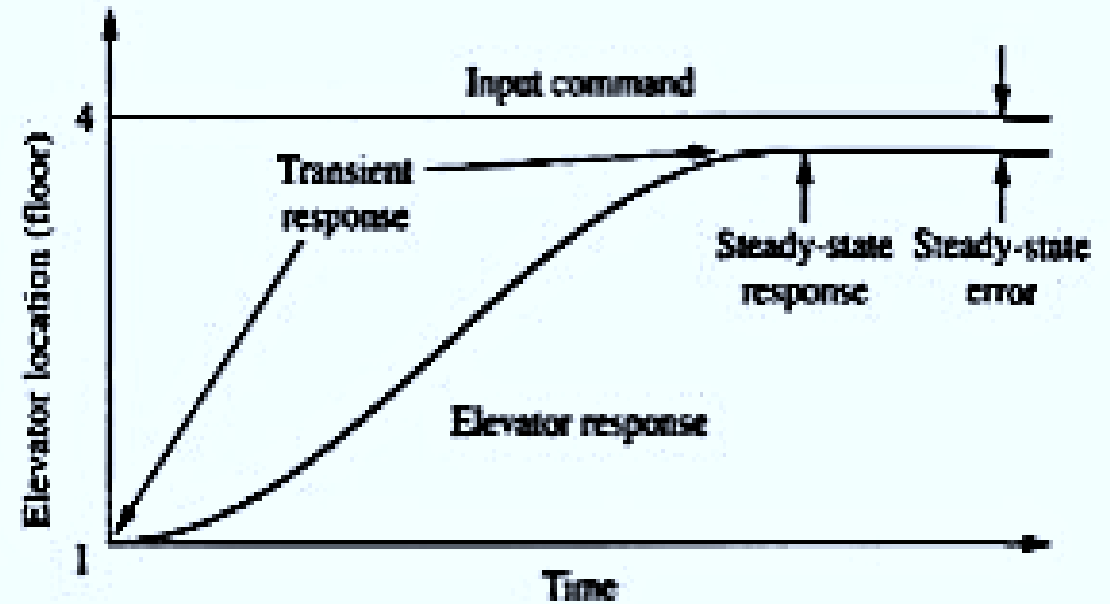
→ adalah Response system mulai keadaan awal hingga keadaan akhir.

2. ***Respon Steady state (keadaan tunak)***

Response system jika $t \rightarrow \infty$ terhitung yang diukur berdasarkan ***steady-state error (SSE)***

Contoh kerja lift -box

- Ketika tombol lantai empat ditekan di lantai pertama, lift naik ke lantai empat dengan kecepatan dan akurasi perataan lantai yang dirancang untuk kenyamanan penumpang.
- Menekan tombol lantai empat adalah input yang mewakili output yang kita inginkan, Dua ukuran utama kinerja sistem:
 1. Respons peralihan (transien) dan
 2. kesalahan kondisi-tunak (Steady state Error).

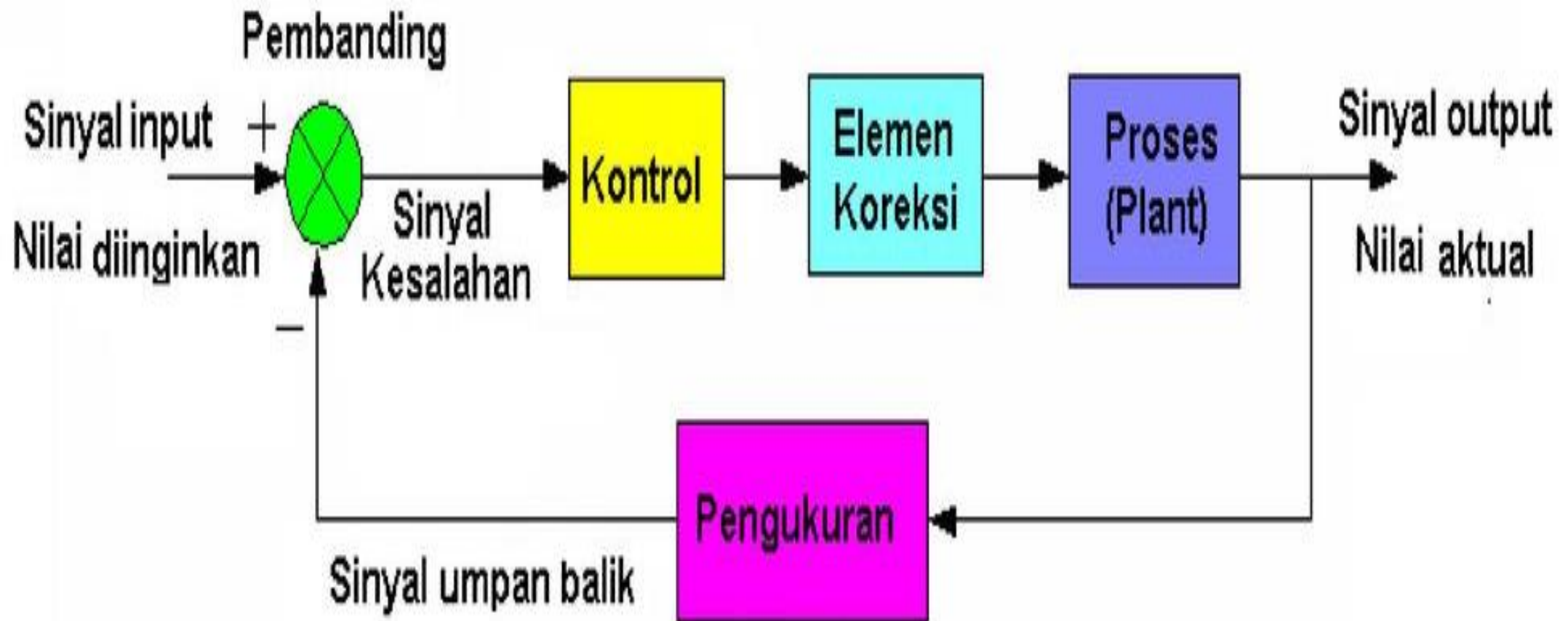


Gambar 5. Elevator response[2]

Contoh Kinerja Lift box

- Misalnya, pada lift box, ketika tombol lantai 4 ditekan di lantai pertama, lift naik ke lantai 4 dengan kecepatan dan akurasi perataan lantai yang dirancang untuk kenyamanan penumpang.
- Menekan tombol lantai empat adalah **input** yang mewakili output yang kita inginkan, ditunjukkan sebagai fungsi Kinerja elevator dapat dilihat dari kurva respon elevator.
- Dalam contoh ini, kenyamanan penumpang dan kesabaran penumpang bergantung pada **respons transien** (sementara).
 - Jika respons ini terlalu cepat, kenyamanan penumpang dikorbankan;
 - jika terlalu lambat, kesabaran penumpang dikorbankan.
- **Respon steady-state error** adalah spesifikasi kinerja penting lainnya karena keselamatan dan kenyamanan penumpang akan dikorbankan jika elevator tidak sejajar dengan benar.

9. Elemen Sistem Kontrol/ Kendali



10. Definisi dan Istilah dalam sistem Kontrol

- **Plant** : adalah seperangkat peralatan, mungkin hanya terdiri dari beberapa bagian mesin yang bekerja bersama-sama, yang digunakan untuk melakukan suatu operasi tertentu. Contoh: tungku pemanas, reaktor kimia, pesawat ruang angkasa.
- **Proses** : adalah suatu operasi yang sengaja dibuat, berlangsung secara kontinyu, yang terdiri dari beberapa aksi atau perubahan yang dikontrol, yang diarahkan secara sistematis menuju ke suatu hasil atau keadaan akhir tertentu. (Setiap operasi yang dikontrol disebut proses).

Definisi dan Istilah dalam sistem Kontrol

- **Sistem** : adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan melakukan suatu sasaran tertentu. Misal: sistem fisik, biologi, ekonomi dsb.
- **Gangguan (disturbances)** : adalah suatu sinyal yang cenderung mempunyai pengaruh yang merugikan pada harga keluaran sistem.

- **Kontrol berumpan-balik (feedback control):** adalah suatu operasi yang dengan adanya beberapa **gangguan** (yang tidak dapat diramal), cenderung memperkecil selisih antara keluaran sistem dan masukan acuan, dan bekerja berdasarkan selisih tersebut.
- **Sistem kontrol berumpan-balik :** adalah sistem kontrol yang cenderung menjaga hubungan yang telah ditentukan antara keluaran dan masukan acuan dengan membandingkannya dan menggunakan selisihnya sebagai alat pengendali. Contoh: organisme manusia adalah sebuah sistem kontrol berumpan-balik yang sangat kompleks.
- **Servomekanisme :** adalah sistem kontrol berumpan-balik dengan keluaran berupa posisi, kecepatan, atau percepatan mekanik.

- **Sistem regulator otomatis** : adalah sistem kontrol berumpan-balik dengan masukan acuan atau keluaran yang diinginkan konstan atau berubah terhadap waktu, tugas utamanya adalah menjaga keluaran yang sebenarnya pada harga yang diinginkan, dengan adanya gangguan. Contoh: sistem pendingin ruangan dengan pengendali termostat.
- **Sistem pengontrol proses** : adalah sistem regulator otomatis dengan keluaran berupa besaran seperti temperatur, tekanan, debit aliran, tinggi muka cairan, atau pH. Sebagian besar sistem pengontrol proses meliputi servomekanisme sebagai bagian yang terpadu.

II. Klasifikasi Sistem Kontrol/Kendali

1. Menurut Operator pengontrol : Sistem Kontrol Manual dan Otomatik
2. Menurut Hubungan masukan dan keluaran: Sistem Kontrol Lingkar Terbuka (*Open Loop*) dan Lingkar Tertutup (*Closed Loop*)
3. Menurut hubungan variable: Sinyal Sistem Kontrol Kontinyu dan Sinyal Sistem Kontrol Diskrit
4. Menurut sumber penggerak:
 - Sistem Kontrol Elektrik,
 - Sistem Kontrol Mekanik,
 - Sistem Kontrol Pneumatik, dan
 - Sistem Kontrol Hidraulik

Pendahuluan

- Sistem kontrol merupakan sebuah sistem yang terdiri atas satu atau beberapa peralatan yang berfungsi untuk mengendalikan sistem lain yang berhubungan dengan sebuah proses.
- Dalam suatu industri, semua variabel proses seperti daya, temperatur dan laju alir harus dipantau setiap saat.
- Bila variabel proses tersebut berjalan tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka sistem kontrol dapat mengendalikan proses tersebut sehingga sistem dapat berjalan kembali sesuai dengan yang diharapkan.

1. Sistem Kontrol Manual dan Otomatik

- **Sistem Kontrol Manual** adalah pengontrolan yang dilakukan oleh manusia yang bertindak sebagai operator, sedangkan Sistem Kontrol Otomatik adalah pengontrolan yang dilakukan oleh peralatan yang bekerja secara otomatis dan operasinya dibawah pengawasan manusia.
- Sistem Kontrol Manual banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari seperti pada pengaturan suara radio, televisi, cahaya layer televisi, pengaturan aliran air melalui keran, pengendalian kecepatan kendaraan, dan lain-lain
- Sistem kendali manual merupakan aksi pengendalian dilakukan oleh operator (manusia)
-
- Keuntungan : Konstruksi sederhana & murah
- Kerugian : Probabilitas kesalahan relatif besar (bergantung pada kondisi manusia), waktu kerja lambat, tingkat keakurasian rendah.

Sistem Kendali Manual

Sistem Kendali Manual

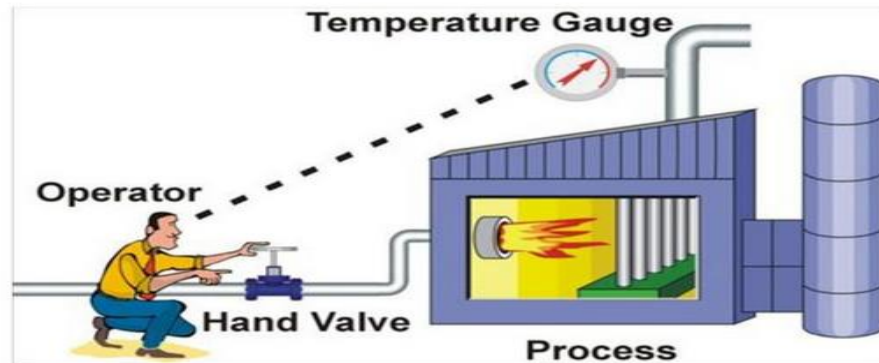
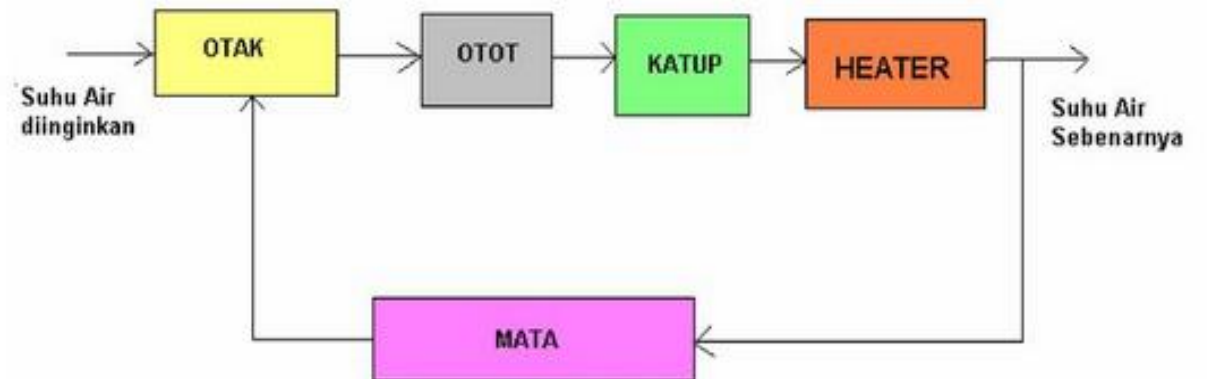
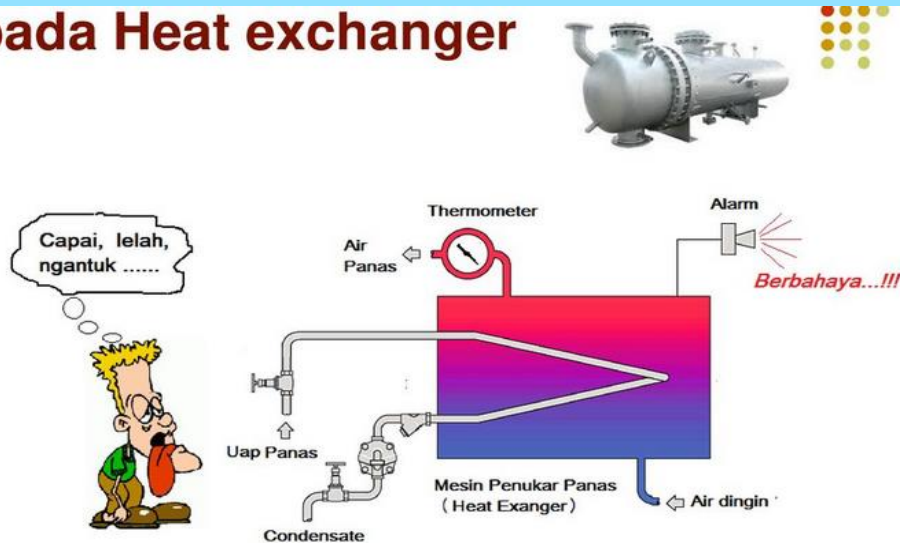


Diagram blok sistem kendali manual pada Heater



pada Heat exchanger

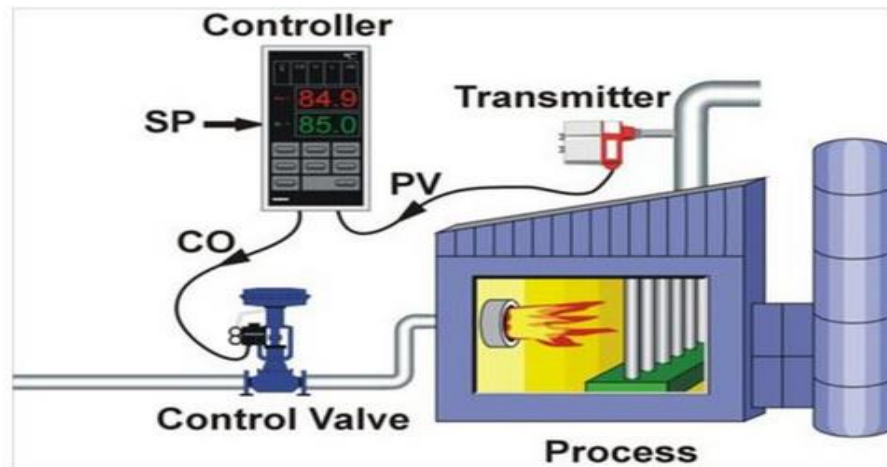


Sistem Kontrol Otomatik

- **Sistem kendali otomatis** adalah sistem kendali yang bekerja secara otomatis tanpa memerlukan operator.
- Penggunaan **Sistem Kontrol Otomatik** banyak ditemui dalam proses industri (baik industri proses kimia dan proses otomotif), pengendalian pesawat, pembangkit tenaga listrik dan lain-lain.

Sistem Kontrol Otomatik

Kontrol otomatis pada Heater



Sistem kendali otomatis pada Heat exchanger

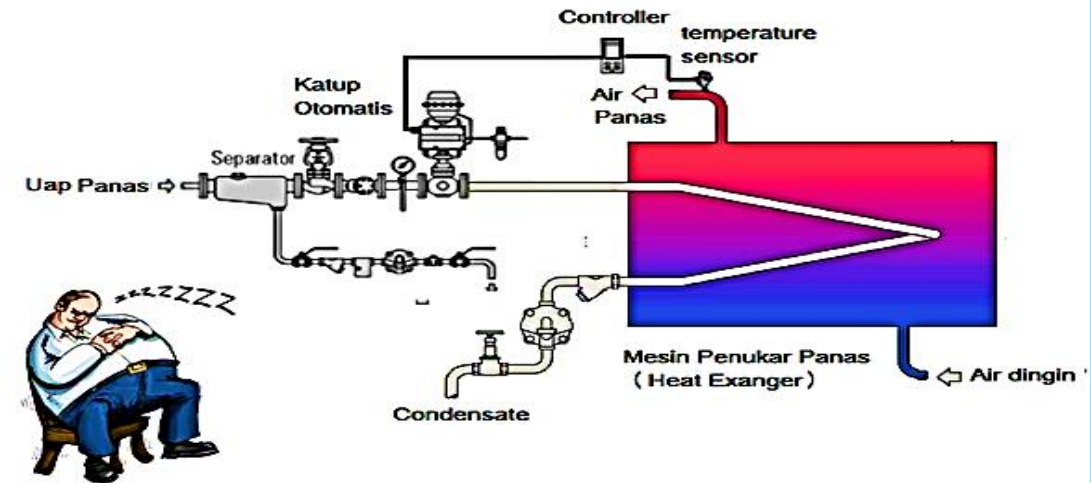
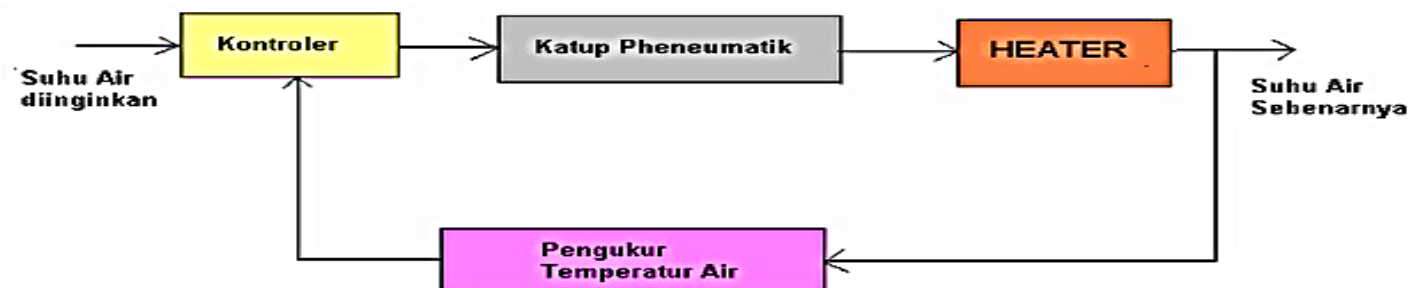


Diagram blok kontrol otomatis pada Heater

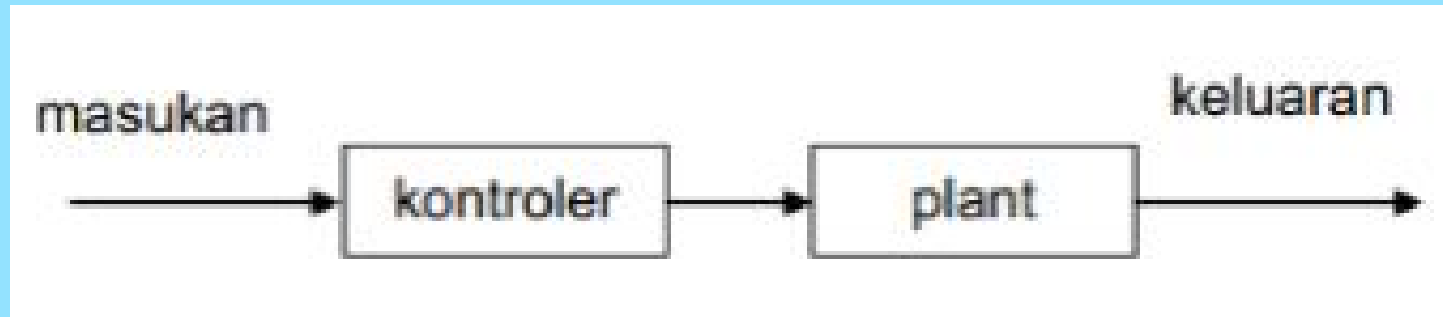


Sistem Kontrol Otomatik

- Aksi Pengendalian sistem dilakukan secara otomatis oleh komponen–komponen kendali yang terdiri atas seperangkat peralatan elektronik yang saling bekerja sama sedemikian rupa sehingga menghasilkan keluaran proses/plant sesuai dengan yang dikehendaki
- Keuntungan :
 - Tingkat kesalahan rendah,
 - Waktu kerja sangat cepat,
 - Keakurasian tinggi,
 - Efektif dan efisien
- Kerugian :
 - Rangkaian kendali kompleks dan mahal

2. Sistem Lingkar Terbuka (*Open Loop*) dan Lingkar Tertutup (*Closed Loop*)

1. **Sistem Kontrol Lingkar Terbuka (*Open Loop*)** adalah sistem pengontrolan dimana besaran keluaran tidak memberikan efek terhadap besaran masukan, sehingga variabel yang dikontrol tidak dapat dibandingkan terhadap harga yang diinginkan.



Gambar 6. Sistem Kontrol Loop Terbuka

Kontrol Loop Terbuka

- Dalam suatu sistem kontrol terbuka, keluaran tidak dapat dibandingkan dengan masukan acuan.
- Jadi, untuk setiap masukan acuan berhubungan dengan operasi tertentu, sebagai akibat ketetapan dari sistem tergantung kalibrasi.
- Dengan adanya gangguan, sistem control terbuka tidak dapat melaksanakan tugas yang sesuai diharapkan.
- Sistem kontrol terbuka dapat digunakan hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal.

Kontrol Loop Terbuka

❑ Ciri – Ciri Sistem Kontrol Loop Terbuka :

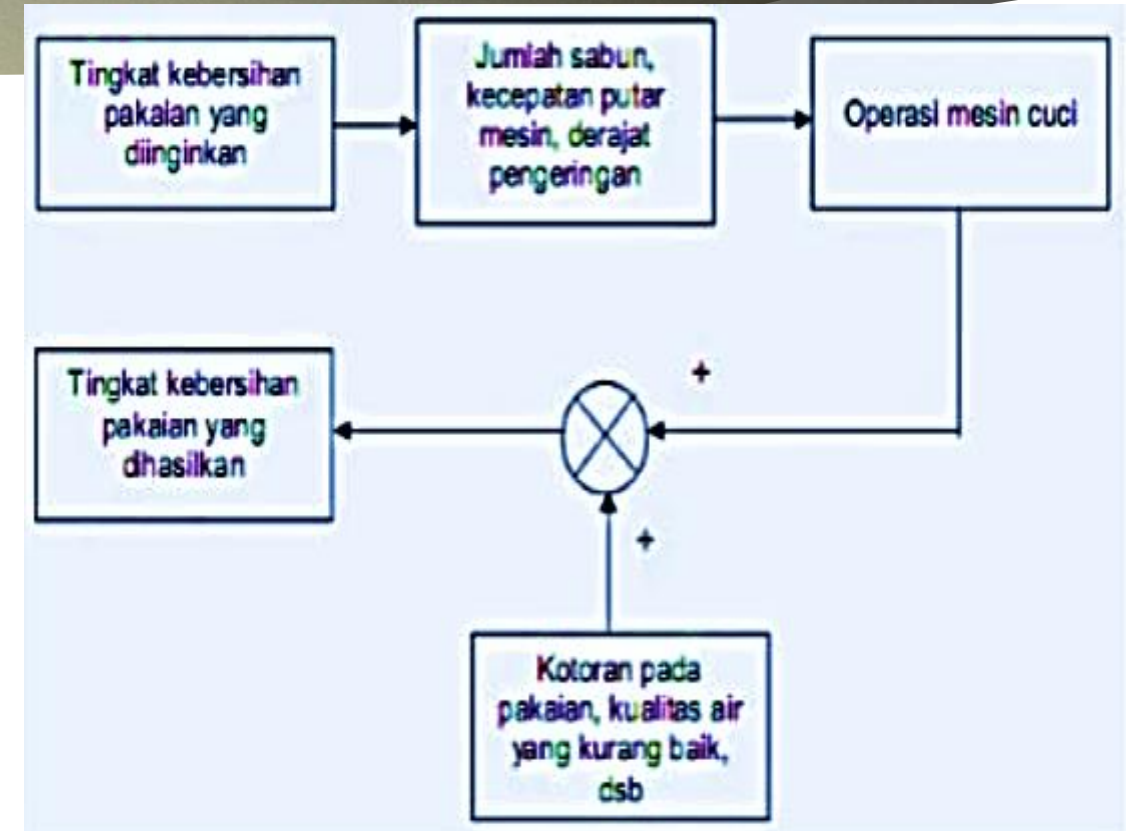
- Sederhana
- Harganya murah
- Dapat dipercaya
- Kurang akurat karena tidak terdapat koreksi terhadap kesalahan
- Berbasis waktu

❑ Contoh Aplikasi Sistem Loop Terbuka :

- Pengontrol lalu lintas berbasis waktu
- Mesin cuci
- Oven listrik
- Tangga berjalan
- Rolling detector pada bandara

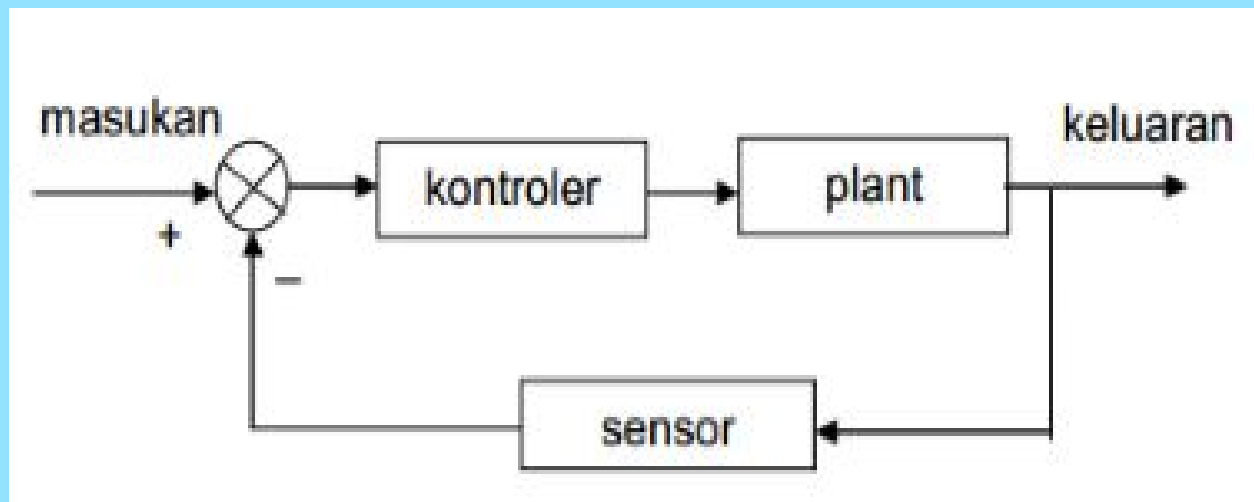
Aplikasi Sistem Kendali Terbuka (*Open Loop*) Pada Mesin Cuci

- Penggilingan pakaian, pemberian sabun, dan pengeringan yang bekerja sebagai operasi mesin cuci tidak akan berubah (hanya sesuai dengan yang diinginkan seperti semula) walaupun tingkat kebersihan pakaian (sebagai keluaran sistem) kurang baik akibat adanya factor-faktor yang kemungkinan tidak di prediksi sebelumnya.



Gambar . Operasi Mesin Cuci

2. Sedangkan **Sistem Kontrol Lingkar Tertutup (*Closed Loop*)** adalah sistem pengontrolan dimana besaran keluaran memberikan efek terhadap besaran masukan, sehingga besaran yang dikontrol dapat dibandingkan terhadap harga yang diinginkan.



Gambar 7. Sistem Loop Tertutup

- Gambar di samping menunjukkan hubungan masukan dan keluaran dari sistem kontrol loop tertutup.

- Jika dalam hal ini manusia bekerja sebagai operator, maka manusia ini akan menjaga sistem agar tetap pada keadaan yang diinginkan.
- ketika terjadi perubahan pada sistem maka manusia akan melakukan langkah-langkah awal pengaturan sehingga sistem kembali bekerja pada keadaan yang diinginkan.

- Sistem Kontrol loop tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan.
- Sistem kontrol loop tertutup juga merupakan sistem control berumpan balik.
- Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran atau turunannya), diumpankan kembali ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan.
- Dengan kata lain, istilah “loop tertutup” berarti menggunakan aksi umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.

komponen pada sistem kendali tertutup:

- ❖ **Input (masukan)**, merupakan rangsangan yang diberikan pada sistem kontrol, merupakan harga yang diinginkan bagi variabel yang dikontrol selama pengontrolan. Harga ini tidak tergantung pada keluaran sistem
- ❖ **Output (keluaran, respons)**, merupakan tanggapan pada sistem kontrol, merupakan harga yang akan dipertahankan bagi variabel yang dikontrol, dan merupakan harga yang ditunjukkan oleh alat pencatat
- ❖ **Beban/Plant**, merupakan sistem fisis yang akan dikontrol (misalnya mekanis, elektris, hidraulik ataupun pneumatic) .
- ❖ **Alat kontrol/controller**, merupakan peralatan/ rangkaian untuk mengontrol beban (sistem). Alat ini bisa digabung dengan penguat

komponen pada sistem kendali tertutup:

- **Elemen Umpan Balik**, menunjukkan/mengembalikan hasil pencatatan ke detector sehingga bisa dibandingkan terhadap harga yang diinginkan (di stel)
- **Error Detector** (alat deteksi kesalahan), merupakan alat pendeteksi kesalahan yang menunjukkan selisih antara input (masukan) dan respons melalui umpan balik (feedback path)
- **Gangguan** merupakan sinyal-sinyal tambahan yang tidak diinginkan. Gangguan ini cenderung mengakibatkan harga keluaran berbeda dengan harga masukanya, gangguan ini biasanya disebabkan oleh perubahan beban sistem, misalnya adanya perubahan kondisi lingkungan, getaran ataupun yang lain.

❑ Contoh aplikasi sistem kendali tertutup:

- Servomekanisme
- Sistem pengontrol proses
- Lemari Es
- Pemanas Air Otomatik
- Kendali Termostatik
- AC

III. Konsep Umpan Balik (Feedback)

- Kendali umpan balik dan diagram kendali loop tertutup sebenarnya adalah konsep yang sama. Berikut adalah penjelasan yang sederhana:
 - **Kendali Umpan Balik:** adalah suatu sistem kendali yang menggunakan informasi dari output sistem untuk mengontrol input sistem. Dengan kata lain, sistem kendali ini "melihat" hasilnya dan kemudian "mengoreksi" inputnya untuk mencapai tujuan yang diinginkan.
 - **Diagram kendali loop tertutup** adalah suatu representasi visual dari sistem kendali umpan balik. Diagram ini menunjukkan bagaimana sistem kendali bekerja dalam loop tertutup, yaitu:
 - 1. *Sensor: Mengukur output sistem (hasilnya).*
 - 2. *Kendali: Menerima informasi dari sensor dan menghitung kesalahan (error) antara hasil yang diinginkan dan hasil yang sebenarnya.*
 - 3. *Aktor: Mengambil tindakan untuk mengoreksi kesalahan dan mencapai tujuan yang diinginkan.*
 - 4. *Sistem: Sistem yang dikontrol, yang menerima input dari aktor dan menghasilkan output.*

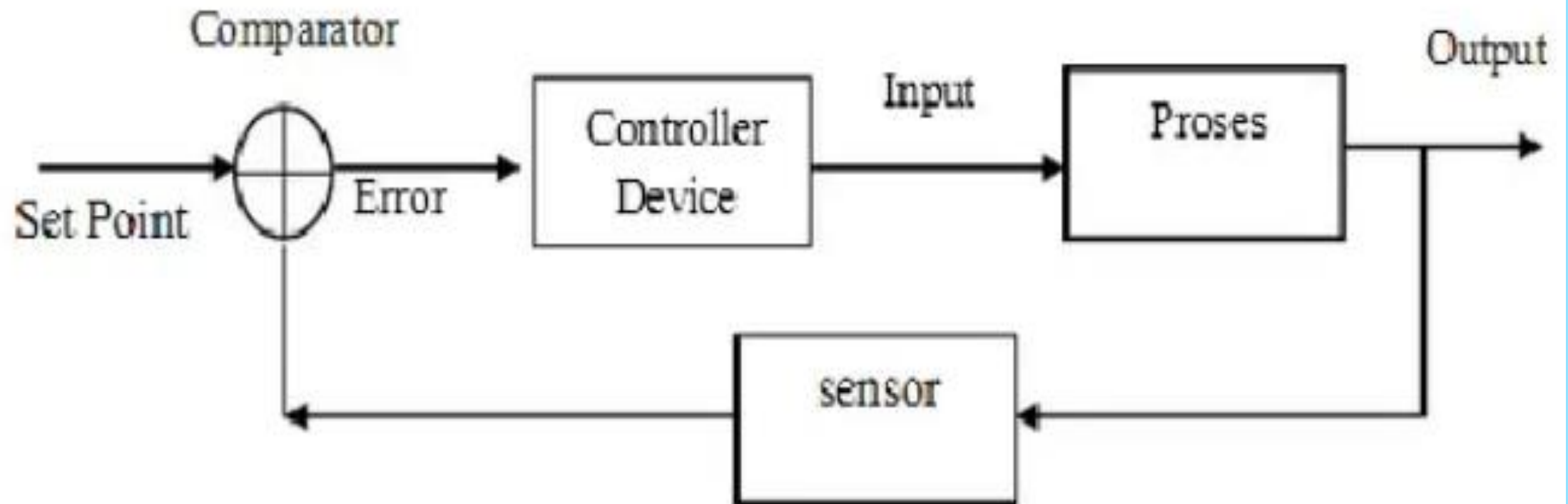
Konsep Umpan Balik (Feedback)

- Dalam diagram kendali loop tertutup, informasi dari output sistem diumpankan kembali ke input sistem untuk mengontrolnya.
- Dengan demikian, sistem kendali dapat mempertahankan kinerja yang stabil dan akurat.
- Jadi, kendali umpan balik dan diagram kendali loop tertutup adalah konsep yang sama, yaitu sistem kendali yang menggunakan informasi dari output sistem untuk mengontrol input sistem dan mencapai tujuan yang diinginkan.

Konsep Umpan Balik (Feedback)

- Pengendalian umpan balik merupakan proses mengukur keluaran dari sistem yang dibandingkan dengan suatu standar tertentu. Bilamana terjadi perbedaan-perbedaan atau penyimpangan - penyimpangan akan dikoreksi untuk memperbaiki masukan sistem selanjutnya.
- Sistem pengendalian umpan balik disebut juga dengan istilah **negative feedback**, karena hasil balik yang negative akan dikendalikan supaya menjadi baik untuk masukan proses selanjutnya.
- Contoh yang paling umum dari sistem pengendalian umpan balik adalah sistem thermostat di dalam alat pendingin (*air Conditioner*).

Sistem Pengendali Umpan Balik



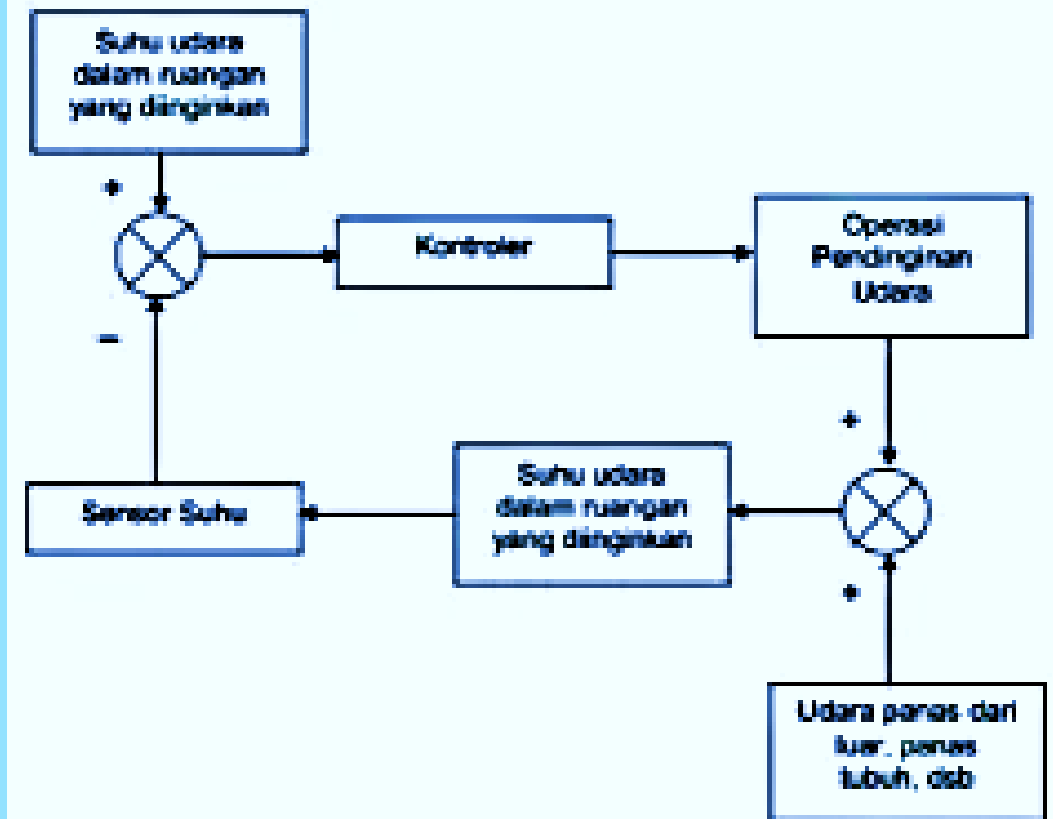
Gambar 1: Sistem pengendali umpan balik

Konsep Umpan Balik (Feedback)

- Kondisi temperatur yang dihasilkan oleh alat pendingin akan diukur oleh suatu sensor dan dibandingkan dengan standar temperatur yang tidak menyebabkan ruangan menjadi lembab.
- Bila temperatur terlalu dingin, maka tungku pemanas sebagai unit pengatur dalam thermostat akan dihidupkan. Bila temperature terlalu panas, maka tungku akan dimatikan dan alat pendingin akan bekerja kembali.
- Seandainya alat pendingin tidak mempunyai pengendali ini, maka ruangan akan menjadi lembab dan tujuan dari alat pendingin tersebut tidak akan tercapai.

Aplikasi Sistem Kendali Tertutup (Close Loop) pada Pendingin Udara (Ac)

- Masukan dari sistem AC adalah derajat suhu yang diinginkan oleh pemakai.
- Keluarannya berupa udara dingin yang akan mempengaruhi suhu ruangan sehingga suhu ruangan diharapkan akan sama dengan suhu yang diinginkan.
- Dengan memberikan umpan balik berupa derajat suhu ruangan setelah diberikan aksi udara dingin, maka akan didapatkan kesalahan (error) dari derajat suhu actual dengan derajat suhu yang diinginkan.
- Adanya kesalahan ini membuat kontroler berusaha memperbaikinya, sehingga didapatkan kesalahan yang semakin mengecil.



Gambar. Proses Umpan Balik Pendingin Udara

Perbandingan antara Sistem Kontrol Loop Tertutup dan Loop Terbuka

- **Kelebihan Sistem Kontrol Loop Tertutup**

- Penggunaan umpan-balik membuat respon sistem relatif kurang peka terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem.
- Dapat digunakan komponen-komponen dengan ketelitian lebih rendah dan murah untuk mendapat pengendali plant dengan teliti yang tidak mungkin diperoleh pada sistem loop terbuka.

- **Kelemahan Sistem Kontrol Loop Tertutup**

- Kestabilan merupakan persoalan utama karena cenderung terjadi kesalahan akibat koreksi berlebihan yang dapat menimbulkan osilasi.
- Sistem kontrol loop tertutup mempunyai kelebihan hanya jika terdapat gangguan/perubahan yang tidak dapat diramal pada komponen sistem

3. Sistem Kontrol Kontinyu dan Diskrit

- **Sistem Kontrol Kontinyu** merupakan sistem kontrol yang dilakukan secara terus menerus selama manufaktur. Variabel kontinyu pada umumnya analog, yang berarti dapat diambil suatu nilai dalam range tertentu. Kontrol kontinyu umumnya bertujuan untuk menjaga agar variabel output pada level yang diinginkan sama seperti operasi sistem kontrol umpan balik.
- Operasi produksi baik dalam industri proses maupun dalam industri manufaktur diskrit memiliki variabel kontinyu,
- Contoh: gaya, temperatur, kecepatan dan laju aliran. Semua variabel tsb adalah kontinyu selama waktu proses yang dapat diambil suatu nilai dalam range tertentu.

- **Pada Sistem kontrol diskrit**, pengontrolan sistem dilakukan tidak secara terus menerus, melainkan didasarkan atas variabel diskrit yang ditentukan. Variabel diskrit adalah sesuatu yang memiliki hanya satu nilai pada range tertentu. Jenis variabel diskrit yang paling umum adalah biner yang berarti memiliki 2 kemungkinan yaitu on atau off, tertutup atau terbuka, dst. Contoh variabel dan parameter biner diskrit adalah : saklar, batas terbuka atau tertutup.
- Dalam kontrol diskrit parameter diskrit dan variabel diskrit suatu sistem dirubah pada saat–saat tertentu, dengan memakai program instruksi seperti program siklus kerja. Perubahan tersebut dilakukan baik karena kondisi sistem telah selesai diubah atau karena waktu tertentu telah dicapai.

4. Menurut sumber penggerak:

- **Sistem Kontrol Elektrik,**
- Dalam dunia industri berbasis otomasi, sistem kontrol elektrik masih digunakan dan menjadi solusi yang tepat untuk mengendalikan beban arus tinggi. Salah satunya penggunaan relay. Kemampuannya terbilang andal untuk mengendalikan dan mengontrol rangkaian dengan arus tinggi maupun arus rendah. Kontrol berbasis relay masih banyak digunakan industri saat ini terutama digunakan untuk pengendalian beban dan proses produksi.
- **Sistem Kontrol Mekanik,**
- Sistem kontrol mekanis merupakan suatu sistem kontrol yang menggunakan bahan-bahan mekanis sebagai kontrolernya.

Menurut sumber penggerak:

- **Sistem Kontrol Pneumatik, dan**
- Sistem kontrol pneumatik merupakan bagian pokok sistem pengendalian yang menjadikan sistem pneumatik dapat bekerja secara otomatis. Adanya sistem kontrol pneumatik ini akan mengatur hasil kerja baik gerakan, kecepatan, urutan gerak, arah gerakan maupun kekuatannya.
- **Sistem Kontrol Hidraulik**
- Sistem hidrolik adalah sistem yang menggunakan fluida berupa pelumas (oli) sebagai media penggeraknya dengan konsep tekanan pada zat cair. Pada sistem kontrol hidrolik ini menggunakan sistem kontrol PLC yaitu *Programmable Logic Controllers* dengan metode ladder diagram.

SISTEM KONTROL PENALARAN

- Sistem kontrol loop terbuka dapat diubah menjadi loop tertutup jika digunakan operator manusia.
- Jika operator mempunyai banyak pengalaman maka ia akan menjadi kontroler yang lebih baik.
- Kita akan menghadapi persoalan yang sulit dalam menulis persamaan yang menggambarkan perilaku manusia.
- Sistem kontrol yang mempunyai kemampuan untuk menalar disebut sistem kontrol dengan penalaran (***learning control system***) atau ***"intelligent control system"***.



Kendali Gerak Robot

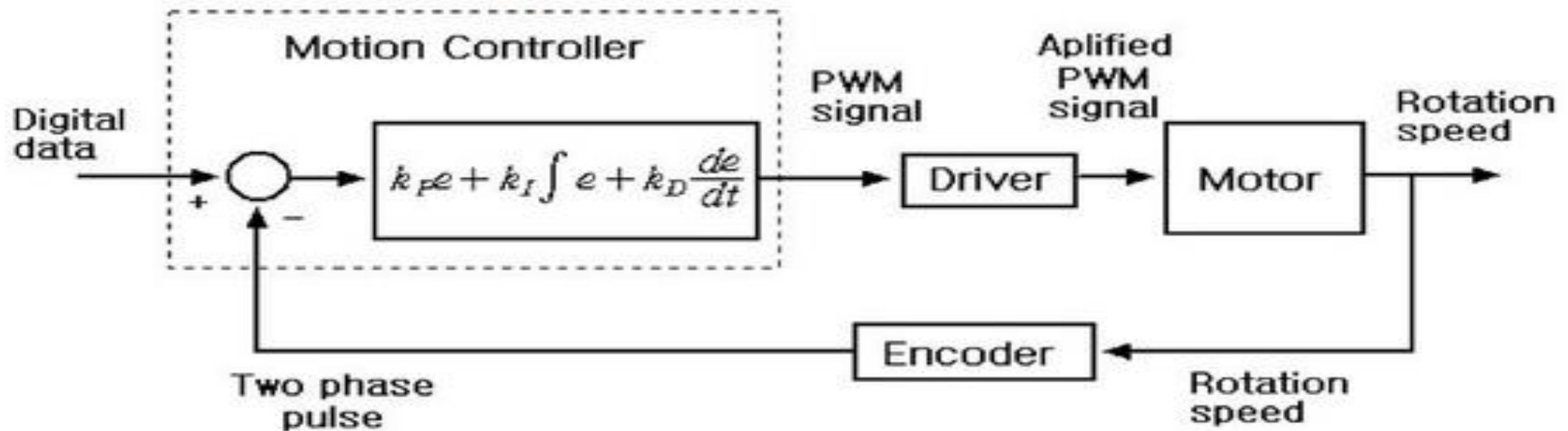
- **Beberapa jenis kendali/control navigasi:**
 - PID (Proportional, Integral & Derivative) control;
 - Robust control;
 - Adaptive control;
 - Nonlinear control;
 - Fuzzy control.
- PID (Proportional, Integral & Derivative) Control: paling umum digunakan saat ini (95%).

SISTEM KONTROL

- Sistem kontrol dapat digunakan di dalam pabrik, gedung-gedung maupun dalam PLTN.
- Sistem kontrol sudah berkembang sejak awal abad ke 20, yaitu dengan ditemukannya
 - sistem kontrol proporsional,
 - sistem kontrol integral dan
 - sistem kontrol differensial.
- Dalam perkembangannya, ketiga sistem kontrol tersebut digabung menjadi satu, menjadi **sistem kontrol PID** (*Proporsional, Integral, Differensial*).

PID control

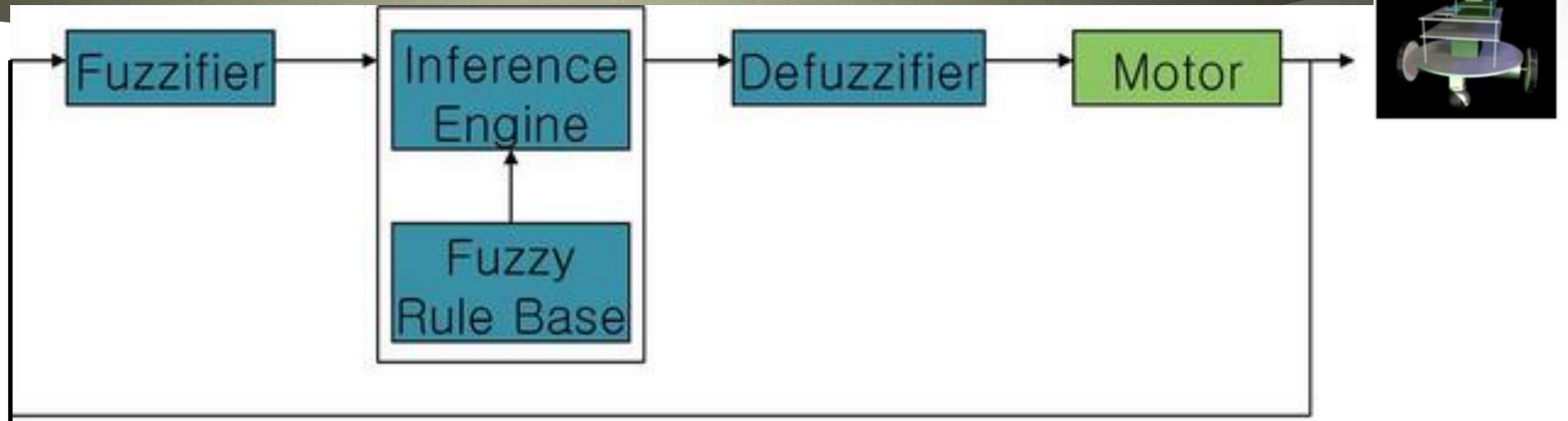
PID control loop



- **Gagasan Dasar**

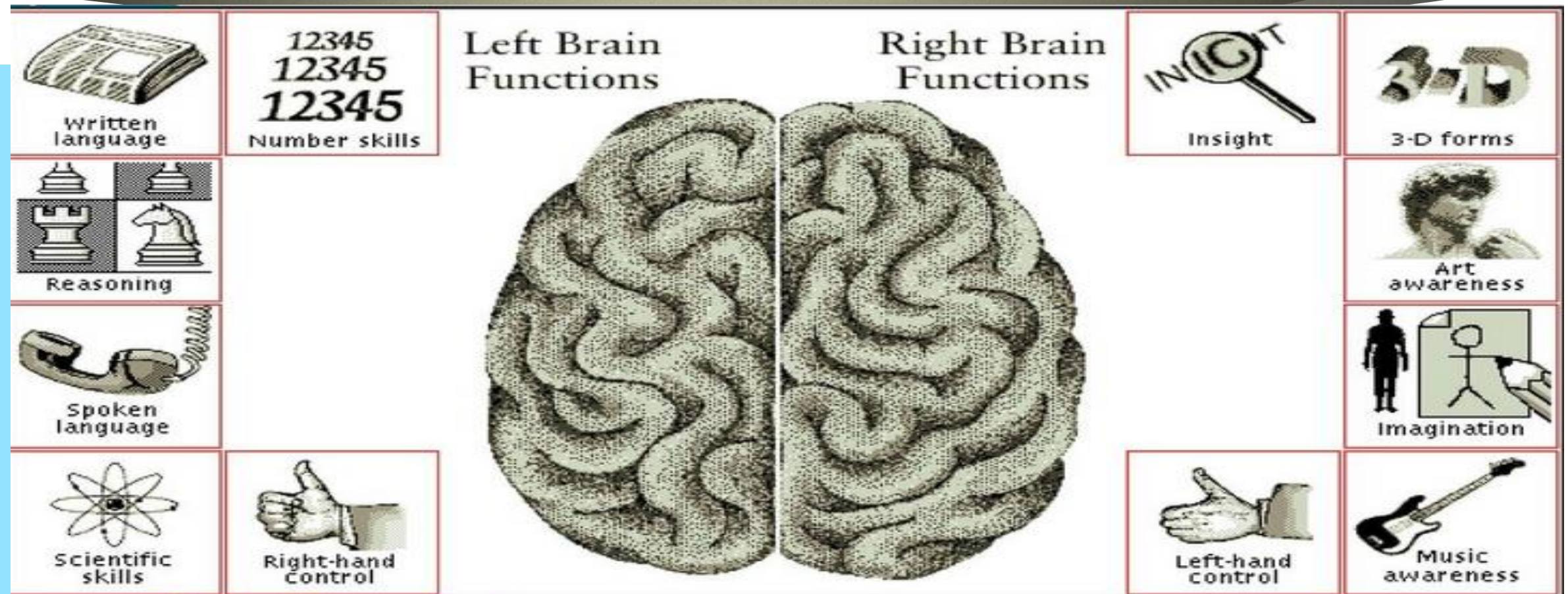
- Jika kesalahan besar, maka kendali masukan juga harus besar.
- Jika kesalahan kecil, maka kendali masukan juga harus kecil.

Operasi Kendali Fuzzy



- Pengendali Fuzzy: Pengendali berbasis Aturan (Rule).
- Tidak membutuhkan komputasi yang kompleks.
- Menurut Skema: Fuzzifikasi, Inference, Defuzzifikasi.
- Derajat keanggotaan pada kelas-kelas fuzzy menentukan kekuatan aturan-aturan yang diterapkan.

OTAK MANUSIA



Penalaran, bahasa,
aritmatika dan logika

Kreativitas, seni, imajinasi

OTOMATISASI

- Automatisasi
- yaitu pekerjaan yang tadinya dilakukan oleh manusia digantikan oleh teknologi komputer/prosesor.



PEMECAHAN MASALAH

- Pemecahan masalah yaitu teknologi membuat pekerjaan yang tidak pernah dilakukan sebelumnya oleh manusia ternyata bisa dilakukan.



INOVASI SISTEM

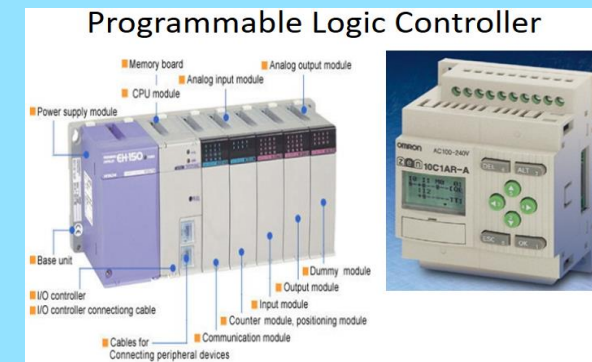
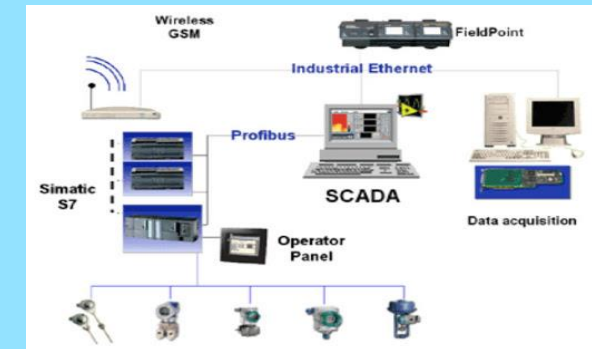
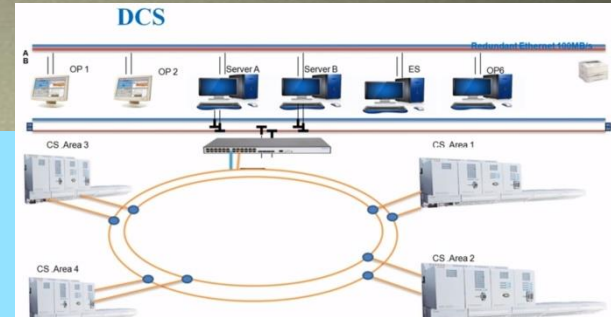
- Inovasi sistem yaitu mengubah fungsi dan struktur sosial-ekonomi yang ada digantikan oleh sistem sosial-ekonomi yang baru.



A New Generation of Control Systems

- CONTROL SYSTEM

- Distributed Control System (DCS)
- Programmable Logic Controller (PLC)
- Supervisory control and data acquisition (SCADA)
- Human Machine Interface (HMI)
- Pneumatic/Electronic Instrumentation



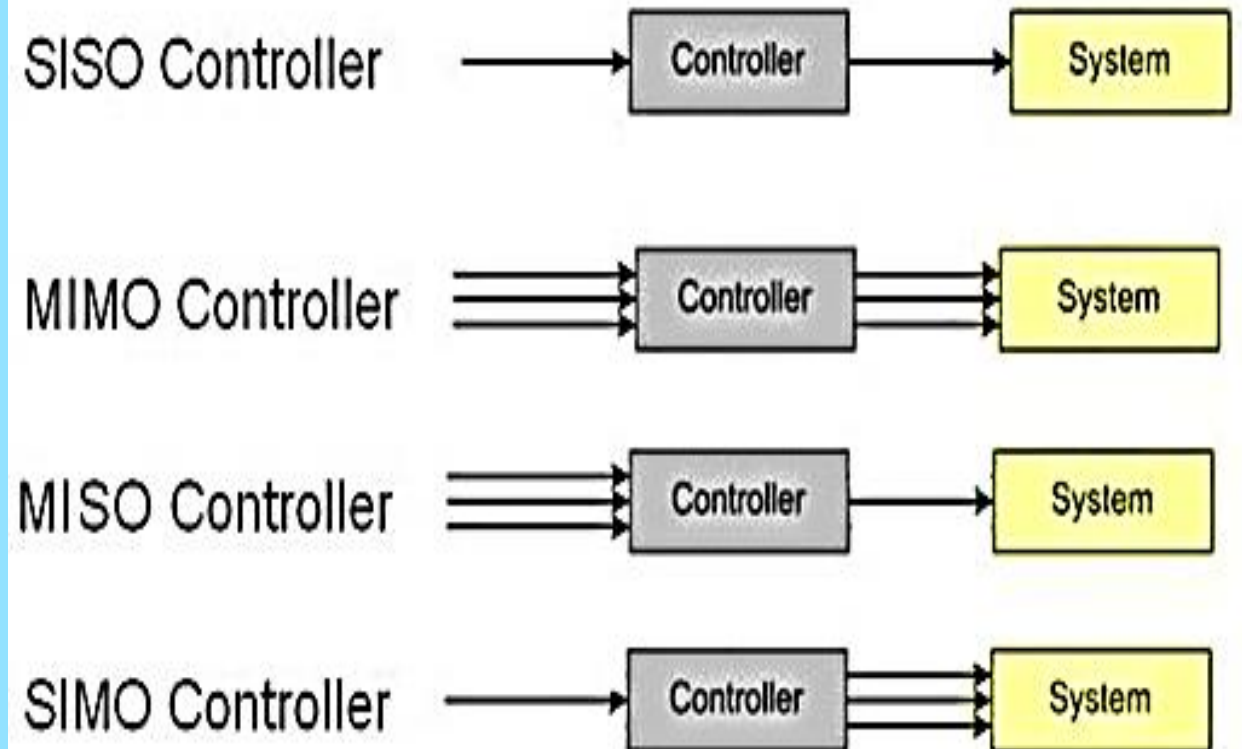
A New Generation of Control Systems

- SMART CONTROL SYSTEM
 - Signal Processing System – *very high speed DSP parallel processing.*
 - Mission Critical System – *fast control loop, uniprocessor.*
 - Distributed Control System – *heterogeneous, moderate processing.*
 - Small System – *very cost-sensitive.*
- Space Technology
 - Spaceshuttle
- Nuclear Technology
 - Nuclear reactors
- Complex installations
 - Proces industry

SISO Sistem

Klasifikasi sistem kendali berdasarkan jumlah sinyal input dan outputnya, dapat diklasifikasikan sebagai berikut. Yaitu

1. SISO (Single Input Single Output)
2. SIMO (Single Input Multi Output)
3. MISO (Multi Input Single Output)
4. MIMO (Multi Input Multi Output)



- **State space** merupakan metode analisis untuk sebuah sistem kendali yang kompleks. Metode ini digunakan untuk menganalisis sistem kendali dengan input banyak dan output banyak atau disebut MIMO (Multiple Inputs and Multiple Outputs).
- Umumnya kita mengenal root locus, analisis Nyquist, diagram bode dll untuk menganalisis system kendali yang sederhana yang hanya memiliki satu input dan satu output atau disebut SISO (Single Input and Single Output). Metode-metode ini disebut metode klasik dan sulit digunakan untuk menganalisis MIMO.