

PENGENALAN SISTEM KENDALI

PERTEMUAN 1 DAN 2 SISTEM KENDALI/KONTROL

Fogot Endro Wibowo, S.T., M.T.
Teknik Mesin Univ. Jayabay

Teknik Kendali

Control engineering or control systems engineering is an engineering discipline that applies **automatic control theory** to **design systems** with **desired behaviors** in control environments.

- It uses *sensors and detectors* to measure the output performance of the process being controlled; these measurements are used to provide corrective feedback helping to achieve the desired performance.
- Multi-disciplinary in nature, control systems engineering activities focus on *implementation of control systems* mainly derived *by mathematical modeling* of a diverse range of systems.

Outline

Apa itu sistem kendali?

Sejarah singkat sistem kendali

Komponen Dasar Sistem Kendali

Open-loop vs. closed-loop

Klasifikasi Sistem Kendali

Syarat Sistem Kendali

Rangkuman

Apa itu sistem kendali?

Secara umum, **sistem kendali** adalah sistem yang dirancang untuk **mewujudkan keluaran atau tujuan yang diinginkan**.

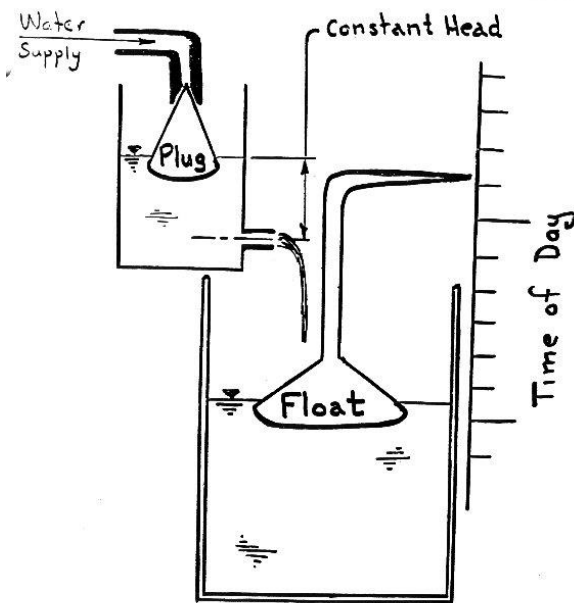
Sistem kendali ada di mana-mana

- Di rumah, mobil, industri, laboratorium, rumah sakit...
- Prinsip sistem kendali **memiliki dampak dalam berbagai bidang** seperti di keteknikan, aeronautika, ekonomi, biologi dan kedokteran...

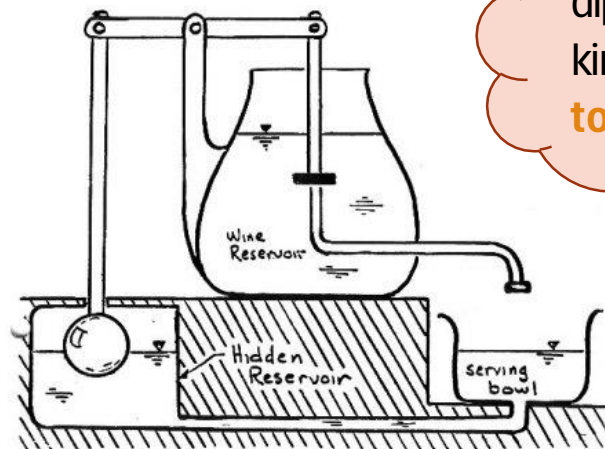
Sejarah singkat sistem kendali

Jam Air (270 SM)

Ketel Anggur Otomatis (100BC)

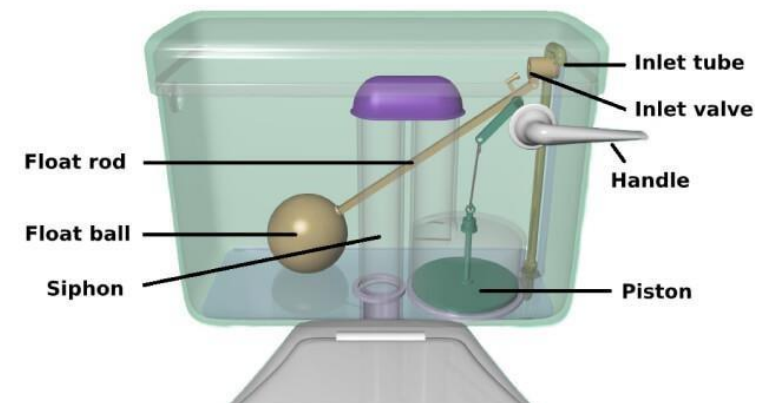


an ELEMENTARY WATER CLOCK

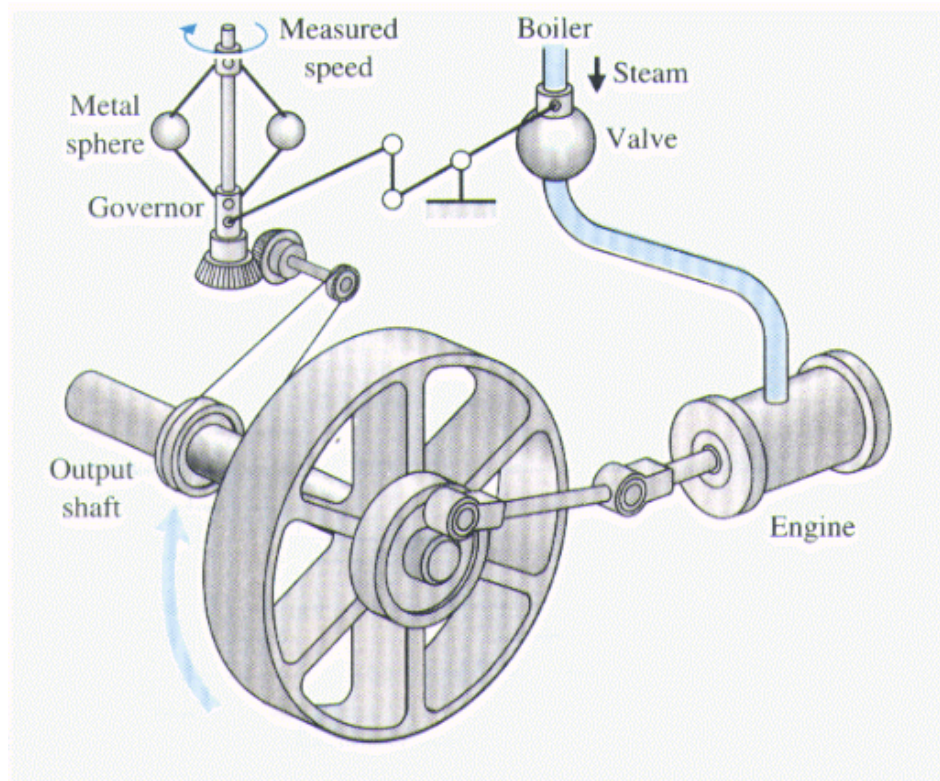


HERO'S SELF-LEVELING BOWL
ca. 30 B.C.

Ide ini masih
dipakai hingga
kini, yaitu di
toilet flush



Sejarah singkat sistem kendali



Fly-ball governor (James Watt, 1769)

Pengendali modern pertama untuk pengaturan kecepatan mesin uap mengurangi pengaruh dari perubahan beban dan mendorong Revolusi Industri

Sejarah singkat sistem kendali

- Kelahiran **teori matematika kendali**
 - G. B. Airy (1840)
 - Ketidastabilan pada sistem kendali umpan balik
 - Analisis sistem menggunakan **persamaan diferensial**
 - J. C. Maxwell (1868)
 - Analisis **kestabilan pada sistem kendali umpan balik**
 - E. J. Routh (1877)
 - Menetapkan **kriteria kestabilan** pada sistem linear
 - A. M. Lyapunov (1892)
 - Menetapkan kestabilan untuk sistem **linear and nonlinear** (dengan persamaan diferensial)
 - Baru digunakan di sistem kendali pada 1958

Sejarah singkat sistem kendali

Kelahiran **metode perancangan kendali klasik**

- H. Nyquist (1932)
 - Prosedur sederhana untuk menentukan kestabilan sistem dari plot grafis respon frekuensi
- H. W. Bode (1945)
 - Metode frequency-response
- W. R. Evans (1948)
 - Metode root-locus

Dengan metode tersebut, kita dapat membuat sistem yang stabil, dapat diterima, tapi ternyata belum optimal.

Sejarah singkat sistem kendali

Pengembangan perancangan **kendali modern**

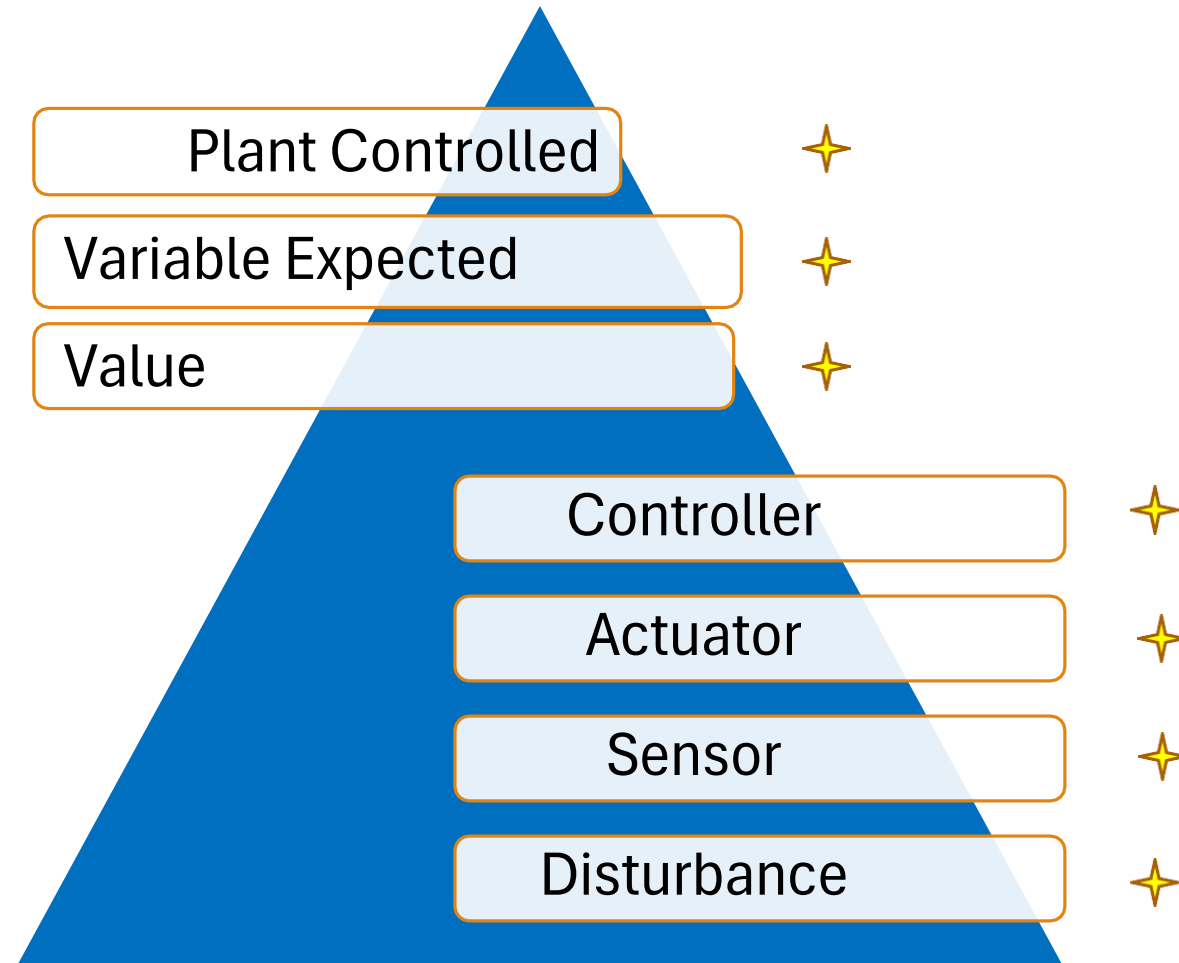
- Akhir 1950an: perancangan sistem **optimal**
- 1960an: Penggunaan komputer digital **untuk menganalisa** domain-waktu pada sistem kompleks, teori kendali **modern telah dikembangkan untuk sistem modern**
- 1960~1980: Kendali **optimal** untuk sistem deterministik dan stokastik; kendali **adaptif** dan kendali **learning**
- 1980an: robust control, H-inf control...

Penerapan teori kendali modern dilakukan pada sistem non-keteknikan seperti **biologi, biomedis, ekonomi...**

Overview Sistem Kendali



Komponen Dasar Sistem Kendali



Basic concepts of a control system



1.Plant: *obyek fisik* yang dikendalikan.



2.Controlled variable: variabel yang dikendalikan oleh sistem kendali, (biasanya luaran sistem).



3.Expected value: *desired value (nilai yang diinginkan)* dari kelauran berdasarkan permintaan (biasanya sebagai masukan referensi)

Controller

4.Controller: komponen yang menghitung sinyal kendali yang dibutuhkan.

Actuator

5.Actuator: piranti mekanis yang mengubah energi (**bisa udara**, cairan, atau listrik) menjadi gerakan atau aksi.

Sensor

6.Sensor: piranti yang **mengukur besaran fisiki** dan mengubahnya menjadi sesuatu yang bisa dibaca oleh instrumen kendali.

Disturbance

7.Disturbance: **faktor tak diduga** yang mengganggu hubungan varibel di dalam sistem.

Plant



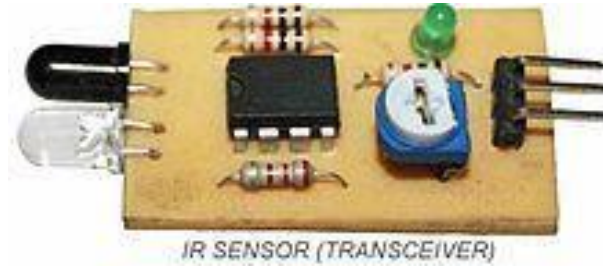
Controller



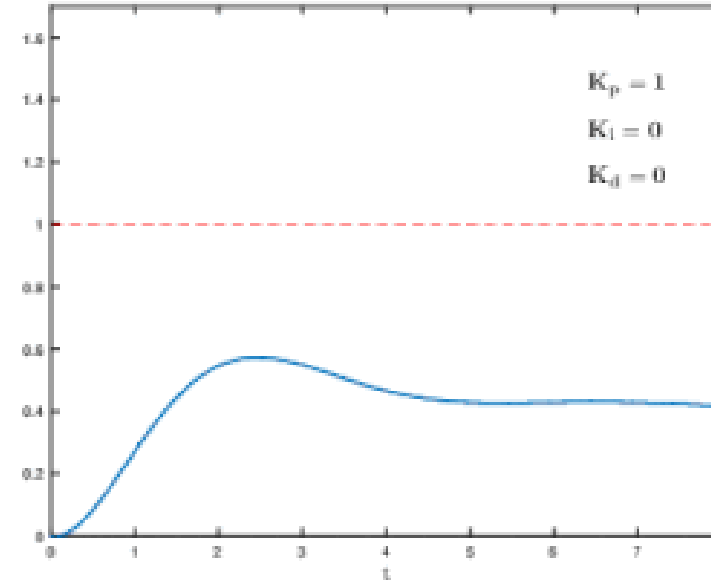
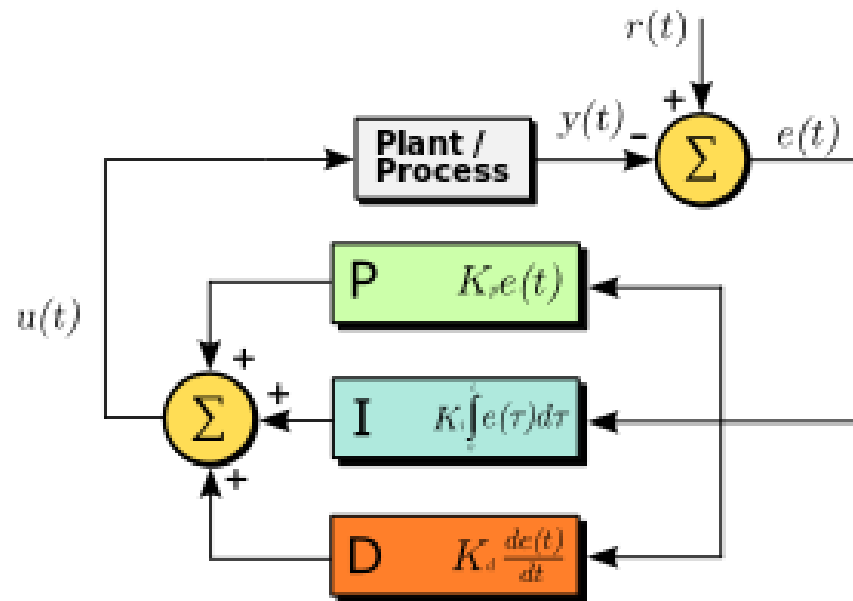
Actuator



Sensor



Teori Kendali



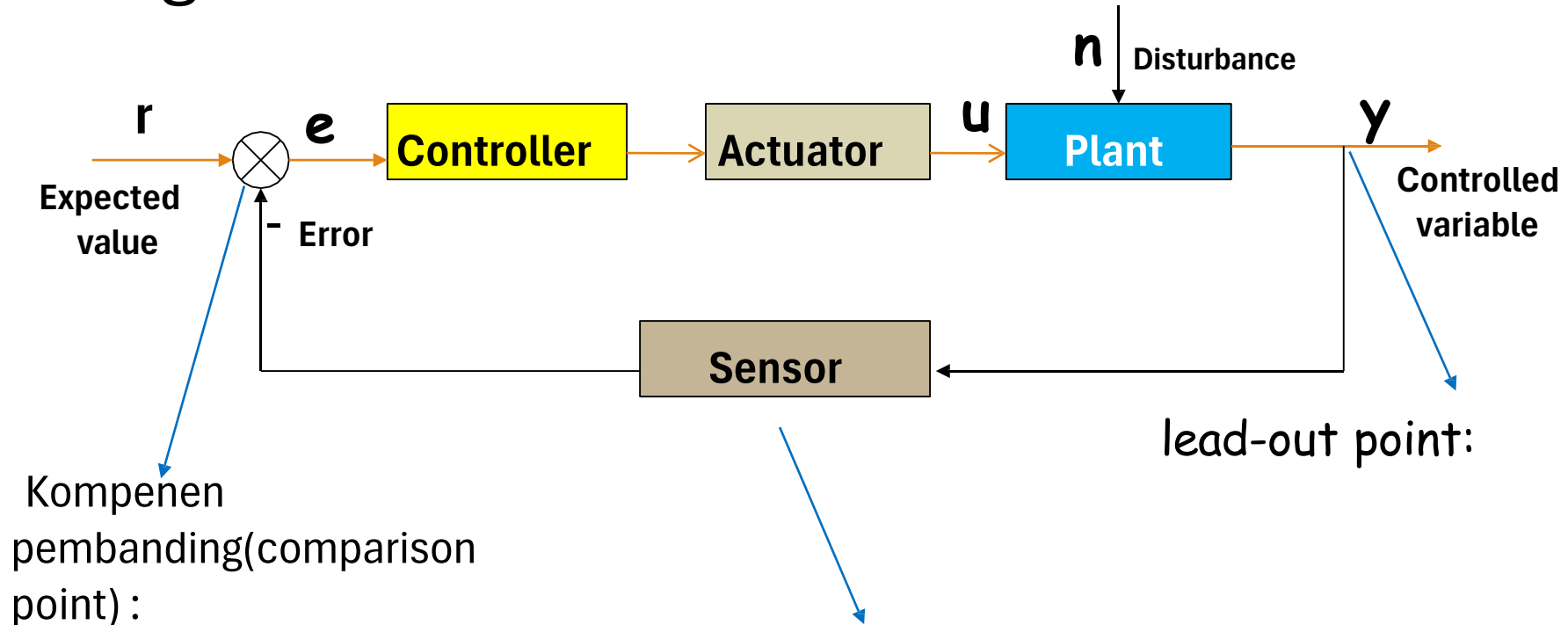
Catatan: Menyatakan Sistem Listrik

Menyatakan dalam persamaan matematika

Menggunakan diagram blok

Menggunakan rangkaian listrik

Diagram blok Sistem Kendali



“+”: plus; “-”: minus

Sistem Kendali Open-loop

Sistem Kendali Open-loop: sistem yang mana **output tidak memiliki pengaruh terhadap aksi kendali.**



Output **tidak diukur tidak juga diumpan balikkan untuk dibandingkan dengan input.**

Untuk setiap referensi, ada kondisi operasi yang tetap; sehingga akurasi sistem tergantung pada **kalibrasi (calibration)**.

Kalau ada gangguan (**disturbances**), sebuah sistem open-loop **tidak akan** melakukan tugas yang diinginkan.

Contoh sistem kendali open-loop

Contoh

- Mesin cuci (sederhana)
- Lampu lalu lintas

Lazimnya, setiap sistem kendali yang beroperasi berbasis waktu adalah sistem open-loop.



Sistem Kendali Open-loop

Sifat sistem kendali Open-loop

- Sederhana konstruksinya dan mudah dalam perawatan.
- Lebih murah daripada sistem closed-loop.
- Tidak memperhitungkan masalah stabilitas.
- Rekalibrasi selalu perlu dilaksanakan.
- Sensitif terhadap gangguan (disturbances), sehingga kurang akurat.

Bagus

Jelek

Sistem kendali Open-loop

Kapan kita dapat menerapkan kendali open-loop?

- Hubungan antara input dan output *diketahui secara eksak*.
- Tidak ada *gangguan internal maupun eksternal*.
- Jika mengukur output secara presisi itu *sangat sulit* atau *mahal*.

Sistem Kendali Closed-loop

Sistem Kendali Closed-loop disebut juga sistem **feedback control** (sistem umpan balik).

Ide dari feedback:

- **Membandingkan** *output sesungguhnya* dengan nilai yang diperkirakan (*expected value*).
- **Melakukan tindakan** berdasar atas *perbedaan (error)*.



- Ide sederhana ini ternyata **sangat luar biasa**.
- Feedback adalah *ide dasar* dalam disiplin sistem kendali.

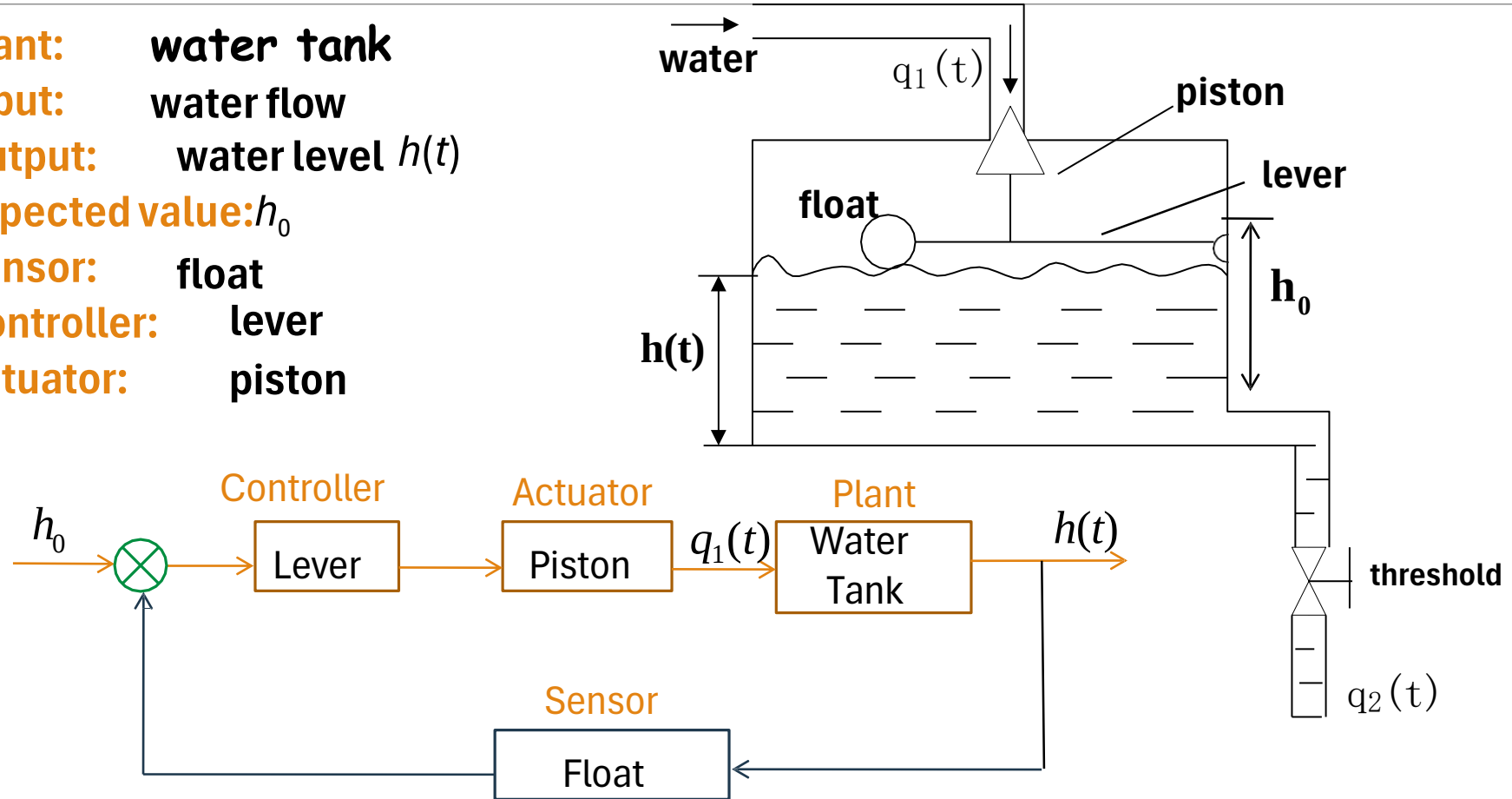
Sistem Kendali Closed-loop

Dalam bahasa sehari-hari, feedback control system = closed-loop control system

Closed-loop control selalu menggunakan aksi feedback control **untuk mengurangi error sistem**

Contoh 1: *flush toilet*

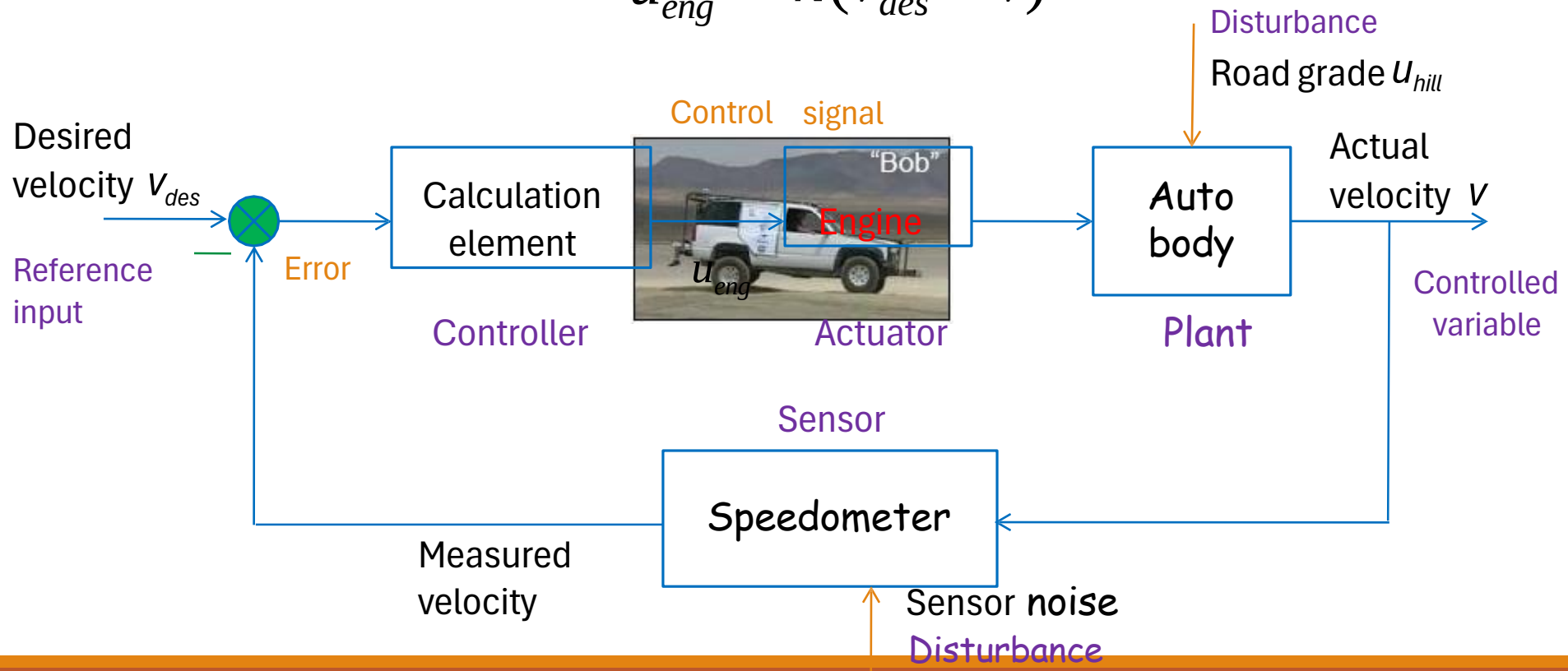
Plant: water tank
Input: water flow
Output: water level $h(t)$
Expected value: h_0
Sensor: float
Controller: lever
Actuator: piston



Contoh 2: Cruise control

$$m\dot{v} = -bv + u_{eng} + u_{hill}$$

$$u_{eng} = k(v_{des} - v)$$



Contoh 2: Cruise control

$$m\dot{v} = -bv + u_{engine} + u_{hill}$$

$$u_{engine} = k(v_{des} - v)$$



Stability/performance

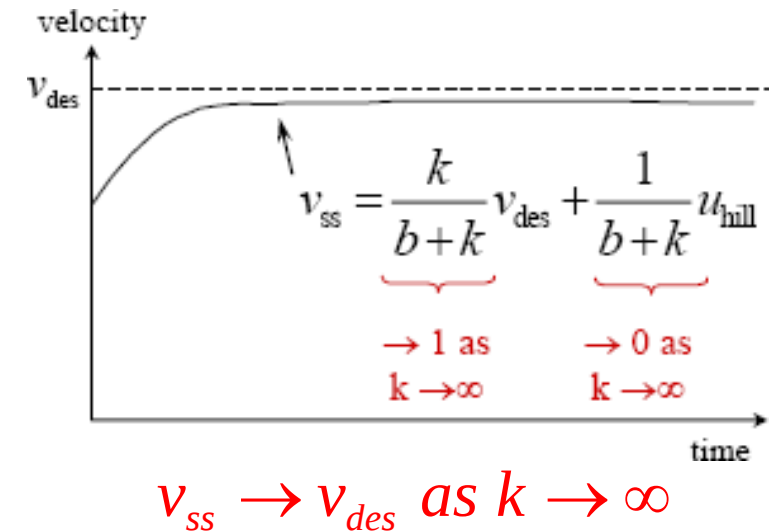
Steady state velocity approaches desired velocity as $k \rightarrow \infty$;
Smooth response: no overshoot or oscillations

Disturbance rejection

Effect of disturbances (eg, hills) approaches zero as $k \rightarrow \infty$

Robustness

Results don't depend on the specific values of b , m or k , for k sufficiently large



Feedback control

Keuntungan feedback control:

- Mengatasi pengaruh gangguan (disturbance)
- Membuat sistem tak sensitif terhadap perubahan
- Men-stabilkan sistem yang tak stabil

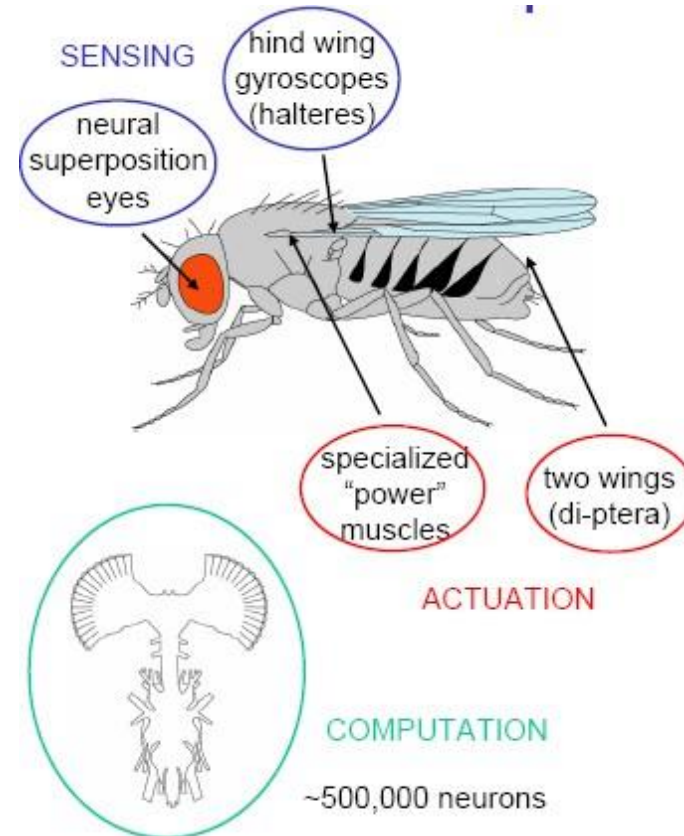
Feedback control

Potensi kelemahan feedback control:

- Dapat menyebabkan ketidakstabilan (instability) jika tidak dibuat dengan benar
- Adanya tambahan derau (noise) dari sensor yang memengaruhi dinamika
- Meningkatkan kompleksitas sistem

Contoh lain dari feedback

Sistem Feedback *tidak hanya di bidang keteknikan* tapi bisa juga di bidang lain



Contoh lain dari feedback

Tubuh manusia

Suhu tubuh dan tekanan darah diatur secara konstan melalui teknik feedback.

Feedback membuat tubuh manusia relatif tak sensitif terhadap gangguan luar.

Open-loop vs. closed-loop

Open-loop control

**Simple structure,
low cost**

Easy to regulate

**Low accuracy and
resistance to disturbance**

Closed-loop control

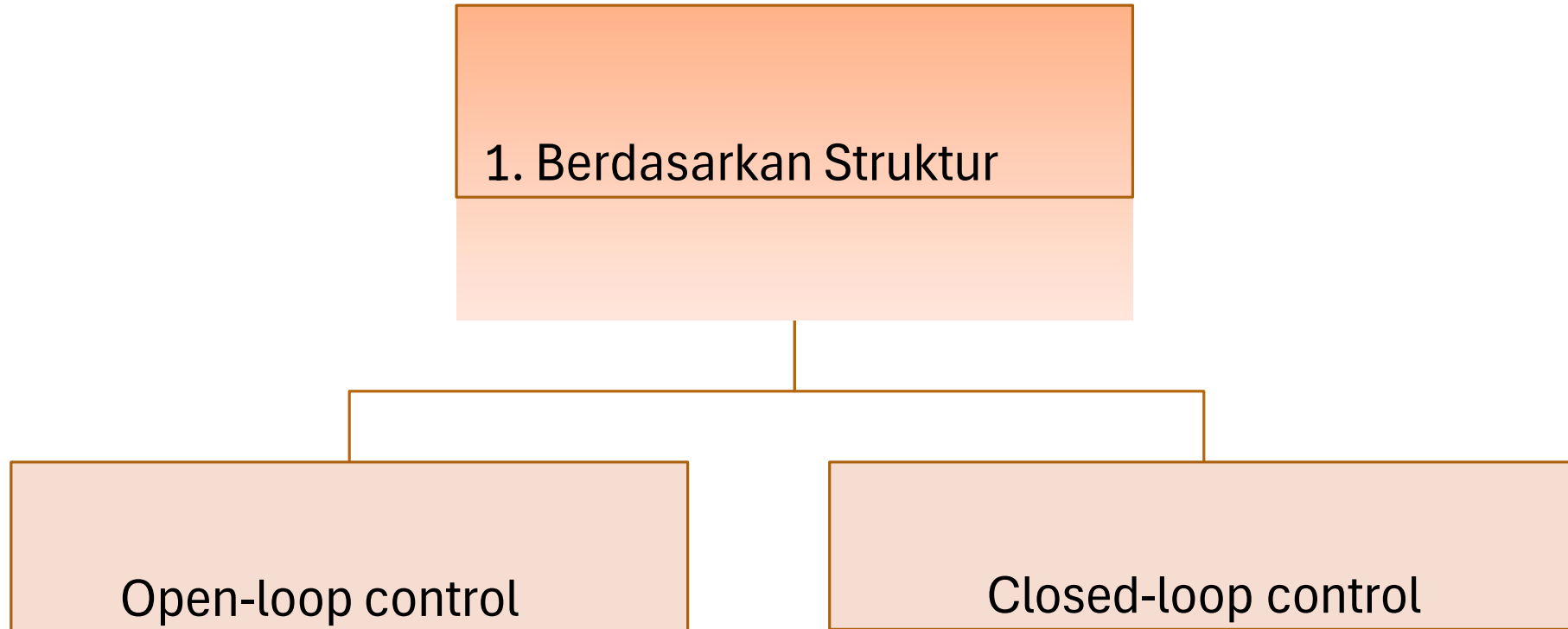
Ability to correct error

**High accuracy and
resistance of disturbance**

**Complex structure,
high cost**

**Selecting parameter is
critical (may cause
stability problem)**

Klasifikasi Sistem Kendali



2. Berdasarkan Input Referensi

```
graph TD; A[2. Berdasarkan Input Referensi] --> B[Kendali Nilai Konstan  
(Constant-value control)]; A --> C[Kendali Servo  
(Servo/tracking control)]; A --> D[Kendali Terprogram  
(Programming control )];
```

Kendali Nilai Konstan (Constant-value control)

- input referensi (expected value) bernilai konstan
- pengendali berfungsi untuk mengatur agar output bernilai mendekati nilai konstan
ex. Kendali temperatur konstan, kendali tinggi air dan kendali tekanan konstan.

Kendali Servo (Servo/tracking control)

- nilai referensi bisa tidak diketahui atau berubah-ubah
- pengendali berfungsi untuk mengatur agar output bisa mengikuti (track) nilai referensi yang berubah
ex. Sistem navigasi otomatis, antena dengan satellite-tracking

Kendali Terprogram (Programming control)

- input berubah sesuai dengan program
- pengendali berfungsi menurut perintah yang ditentukan
ex. Mesin kendali numeris

3. Berdasarkan Karakteristik Sistem

Sistem
Kendali
Linear

Sistem
Kendali
Nonlinear

$$f(x_1) = y_1 \quad f(x_2) = y_2$$

↓ superposition principle

$$f(x_1 + x_2) = f(x_1) + f(x_2) = y_1 + y_2$$

- superposition principle applies
- described by linear differential equation

- described by nonlinear differential equation

4. Menurut bentuk sinyal

```
graph TD; A[4. Menurut bentuk sinyal] --> B[Sistem Kendali Kontinu (Analog)]; A --> C[Sistem Kendali Diskret (Digital)];
```

Sistem Kendali
Kontinu
(Analog)

Sistem Kendali
Diskret (Digital)

Semua sinyal merupakan fungsi kontinu dari variabel waktu t

Sinyal berasal dari sinyal digital atau kode digital

5. Menurut parameter

Sistem Time-invariant

Parameter sistem kendali adalah stasioner (tetap) seiring waktu

Sistem Time-varying

Sistem memiliki elemen yang berubah mengikuti waktu

e.g. Guided-missile control system, time-varying mass results in time-varying parameters of the control system

Syarat Sistem Kendali

Stabilitas: merujuk pada kemampuan sistem untuk kembali ke kesetimbangan (**recover equilibrium**)

Kecepatan: merujuk kepada durasi waktu sesaat (**duration of transient process**) sebelum sistem kendali mencapai kesetimbangan

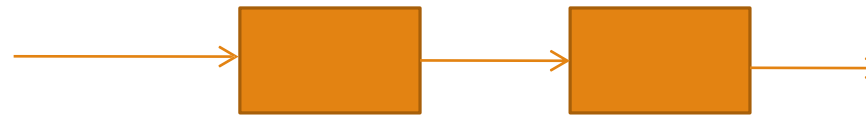
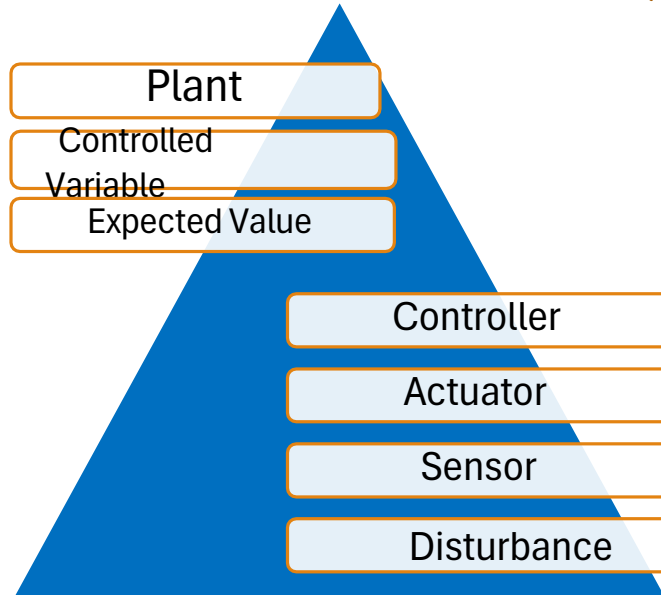
Akurasi: merujuk kepada seberapa besar kesalahan waktu tunak (**size of steady-state error**) saat proses transien berakhir

(Steady-state error=desired output – actual output)

Rangkuman

What is a control system?

A brief history of control



Open-loop control

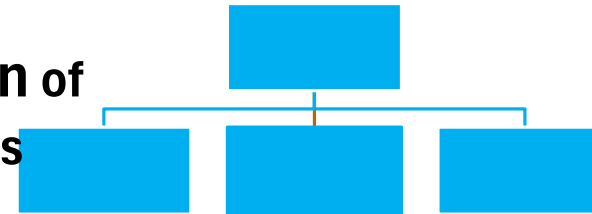


Closed-loop control

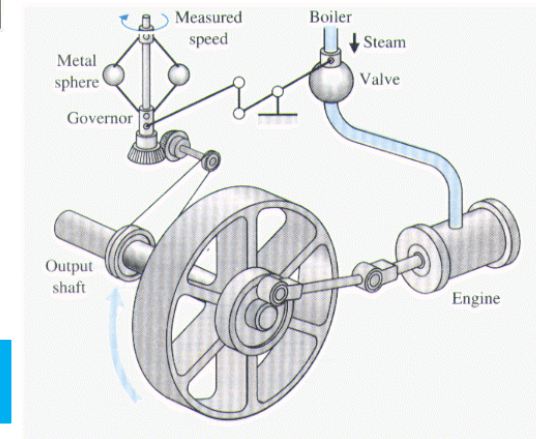
Feedback:

- reduce disturbance effects
- provide extra freedom for control design
- may cause instability

Classification of control systems



Requirements: **Stability, Quikness, Accuracy**



END
