

Diktat Kuliah

# TEORI SISTEM



RINDA HEDWIG



## ABSTRAK

Teori Sistem adalah mata kuliah dasar wajib yang diperuntukan bagi mahasiswa Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer di Universitas Bina Nusantara dan diberikan pada semester ke dua. Mata kuliah ini tidak memiliki pra syarat, namun demikian, diharapkan setiap mahasiswa yang mengambil mata kuliah ini minimal sudah mengetahui atau memahami ilmu Fisika Dasar (Mekanika), Teori Rangkaian Listrik, Kalkulus, Aljabar Linier, dan Manajemen, serta sedikit pemrograman dasar menggunakan Mathematic Tools seperti MATLAB, MATHEMATICA atau MAPLE.

Pada mata kuliah Teori Sistem dipelajari mengenai dasar-dasar modeling serta memodelkan persoalan yang bersifat fisis ke dalam model matematik dan menuangkannya dalam bentuk grafik dengan bantuan program MATLAB. Disamping itu pula, hasil permodelannya dianalisa terhadap kehandalan, kelinieran serta kelemahannya secara keseluruhan. Sebagai tambahan, pada mata kuliah ini juga diperkenalkan mengenai cara pengamatan dalam dunia usaha, yaitu mengamati kinerja suatu perusahaan melalui sisi seorang sarjana komputer.

Mata kuliah ini secara keseluruhan terdiri atas konsep dasar mengenai sistem secara keseluruhan, pembagian sistem berdasarkan atas umpan balik, permodelan, kehandalan sistem, kelinieran sistem analisa sistem dan desain sistem, serta mengenai pengamatan kinerja perusahaan. Diharapkan apabila seorang mahasiswa telah menerima mata kuliah ini akan mampu menghasilkan suatu permodelan, menyimpulkan hasil permodelannya, serta menerangkan kinerja dari model yang dibuatnya.

**Kata Kunci:** Teori Sistem, sistem, model, kehandalan, kelinieran, kinerja perusahaan



## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat karuniaNya sajalah sehingga semua impian dapat diwujudkan, termasuk pembuatan diktat bagi mahasiswa Sistem Komputer ini. Dorongan serta cinta kasih dari keluarga juga menyemangati pembuatan diktat ini sebagai salah satu persembahan/kontribusi pengetahuan yang selama ini penulis miliki.

Pembuatan diktat ini tidak mungkin dapat diselesaikan bila tanpa dukungan dari Bapak Satrio Dewanto selaku dosen senior yang menyusun bahan awal kuliah ini, Bapak Iman H. Kartowisastro selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer, Bapak Endra selaku sesama dosen dan rekan-rekan mahasiswa semua. Masukkan dan dukungan dari merekalah yang membuat Diktat ini dapat diselesaikan pada waktunya.

Tak lupa pula kami menghaturkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada The University of Michigan dimana melalui websitenya (<http://www.engin.umich.edu/group/ctm/>), contoh-contoh permodelan berbagai sistem mudah didapatkan.

Semoga diktat sederhana ini dapat bermanfaat bagi dosen dan mahasiswa yang mendalami mata kuliah Teori Sistem.

Penulis



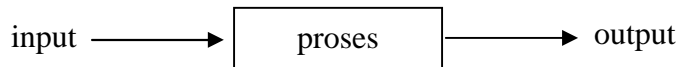
## DAFTAR ISI

	Hal
Abstrak .....	i
Ucapan Terima Kasih .....	ii
Daftar Isi .....	iii
Modul 1 : Sistem .....	1
Tahap Pembentukan Model .....	2
Sistem Dasar .....	6
Modul 2 : Sistem Tanpa Umpan Balik dan Sistem Dengan Umpan Balik ....	10
Sistem Lengan Robot dengan Model Matematis .....	10
Transformasi Laplace .....	13
Modul 3 : Analogi Rangkaian Elektronik ke Bentuk Persamaan Fisika .....	16
Fungsi Alih (Transfer Function) .....	17
Modeling dengan MATLAB .....	19
Memodelkan Sistem Pengendalian Mobil .....	20
- Setup Fisis dan Persamaan Sistem .....	20
- Fungsi Alih .....	20
- State Space .....	21
- Sistem Tanpa Umpan Balik .....	21
- Sistem Dengan Umpan Balik .....	22
- Input Referensi .....	24
Modul 4 : Pengenalan Sistem Waktu .....	26
Sistem Waktu Analog .....	26
Sistem Waktu Diskrit .....	26
Transformasi Z .....	28
Modul 5 : Sistem Kontrol Waktu Diskrit .....	32
Modul 6 : Keandalan Sistem .....	34
Pengukuran Keandalan .....	36
Hubungan Komponen terhadap Model Keandalan .....	38
- Rangkaian Seri .....	38
- Rangkaian Paralel .....	38
- Rangkaian Kombinasi Seri Paralel .....	39
Modul 7 : Sistem Linier dan Tidak Linier .....	41
Melinierkan Sistem Tak Linier .....	43
Modul 8 : Analisa Sistem dan Disain .....	45
Modul 9 : Meninjau Kinerja Perusahaan dari Sudut Pandang Seorang Sarjana Sistem Komputer .....	52
Daftar Pustaka .....	62



## SISTEM

Sistem adalah kombinasi atas beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan melakukan suatu pekerjaan tertentu. Komponen ini dapat berdiri sendiri maupun berupa komponen yang saling berkesinambungan antara satu dengan yang lain. Ada pun komponen utama dari sistem adalah :



- Ø Input adalah komponen masukan yang dapat berupa data atau informasi
- Ø Proses adalah operasi atau perkembangan alami yang berlangsung secara kontinu yang ditandai oleh suatu deretan perubahan kecil yang berurutan dengan cara yang relatif tetap dan menuju ke suatu hasil atau keadaan tertentu
- Ø Output adalah hasil dari perubahan yang dilakukan terhadap data atau informasi yang diberikan pada input

Beberapa contoh sistem:

### 1. Sistem Mobil



Dalam sistem mobil ini terlihat bahwa input-nya yang merupakan penginjakan pedal gas akan menghasilkan kecepatan mobil bertambah. Mobil melakukan proses pada dirinya yang memungkinkan dirinya untuk bergerak lebih cepat.

### 2. Sistem Robot



Tegangan yang diberikan kepada motor pada sistem lengan robot akan menghasilkan gerakan pada lengan robot. Tegangan merupakan komponen input sedangkan gerakan yang dihasilkan merupakan komponen output.



### 3. Sistem Peternakan Ikan



Komponen input untuk sistem peternakan ikan dapat lebih dari satu buah komponen yang terdiri dari bibit ikan, pakan ternak, obat/vitamin untuk ikan dan sebagainya. Kesemua input ini akan mempengaruhi proses yang terjadi pada peternakan ikan tersebut dan akan menghasilkan ikan untuk dijual. Bila input yang diberikan baik maka hasil yang didapat juga akan baik, bila tidak baik berarti ada proses dalam peternakan ikan yang mengakibatkan sistem tidak bekerja dengan baik.

### 4. Sistem Komputer



Penekanan tuts pada keyboard akan membuat komputer melakukan proses sehingga pada output (monitor) terlihat tampilan dari hasil penekanan tuts.

### TAHAP PEMBENTUKAN MODEL

Sebelum kita menentukan sistem yang hendak diaplikasikan atau dibuat, misal sistem pabrikasi sepatu, maka seorang sarjana komputer harus mampu membayangkan dan membuat model dari sistem tersebut. Dengan membuat model, maka tingkat keberhasilan dan kegagalan dari sistem yang hendak dibuat dapat diramalkan terlebih dahulu. Sebelum membuat pabrik sepatu tadi, diperlukan model mengenai apa saja tahapan yang ingin dilakukan agar dari bahan mentah dapat berubah bentuk menjadi sepasang sepatu. Dengan melakukan modeling, pengujian dapat dilakukan terhadap tahapan tersebut tanpa harus benar-benar melakukan aplikasi dengan membeli peralatan terlebih dahulu.

Model adalah gambaran sederhana dari suatu sistem yang dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan seseorang dalam memahami, memprediksi dan mengendalikan sifat sistem.



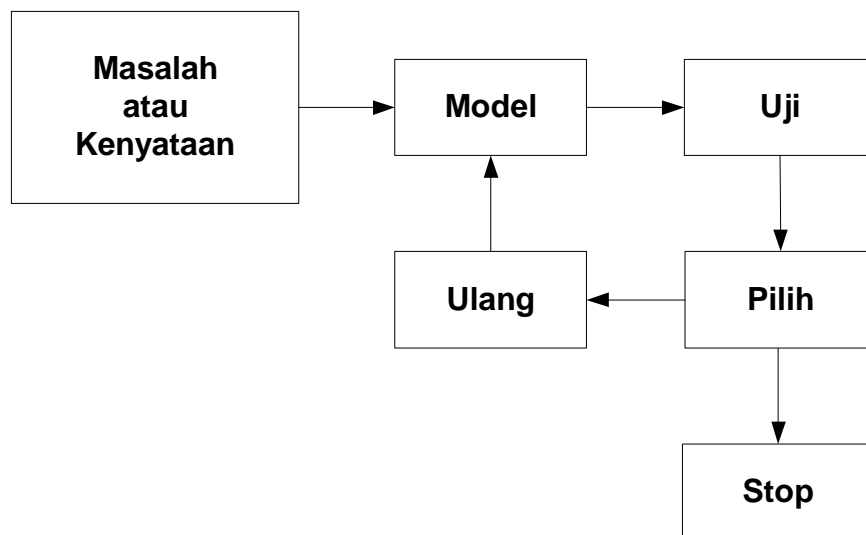
Model Matematika adalah suatu cara untuk menggambarkan sifat dari sistem dengan menggunakan matematika.

Kegunaan Model adalah:

1. Untuk berfikir dan melakukan analisa, misal: model perangkat elektronik, dan gas dalam tangki.
2. Untuk komunikasi, misal: untuk mengetahui kependudukan dengan grafik.
3. Untuk peramalan, misal: jumlah penduduk di masa yang akan datang, dan peramalan cuaca.
4. Untuk kontrol/pengendali/pengawasan, misal: pembangunan gedung, dan lintasan pesawat ruang angkasa.
5. Untuk berlatih/simulasi, misal: astronaut, dan rangkaian elektronik.

Model Matematika ini digunakan sebagai peramalan akan kinerja sistem sebelum sistem tersebut benar-benar diaplikasikan secara riil. Hasil dari model matematika ini nantinya akan dimasukkan dalam program MATLAB (direkomendasikan) dan hasil perhitungannya akan menunjukkan kinerja sistem secara keseluruhan. Apabila kinerja yang dihasilkan tidak sesuai, maka komponennya dapat langsung diubah.

Tahap dari pembentukan model digambarkan sebagai berikut:



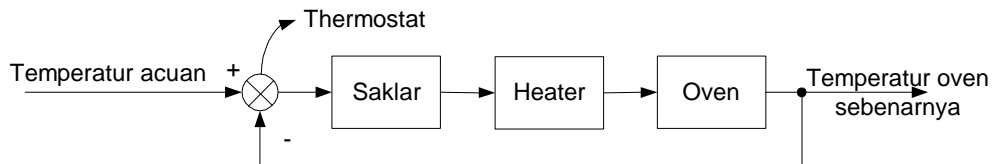
Pada tahap awal perlu diketahui mengenai masalah yang sedang dihadapi atau kenyataan yang hendak diselesaikan dengan membuat suatu sistem. Dari masalah tersebut, dibuatlah sebuah model sistem yang diharapkan dapat membantu menyelesaikan masalah yang dihadapi. Model ini kemudian diuji dan model ini akan dipilih berdasarkan hasil akhirnya. Apabila hasil akhirnya masih kurang dari memuaskan, maka dilakukan pengulangan dengan membuat



model yang baru. Tetapi bila hasilnya sudah memuaskan, maka permodelan bisa dihentikan dan dapat mulai diaplikasikan secara nyata.

Beberapa contoh penggambaran sistem kontrol dengan menggunakan blok diagram :

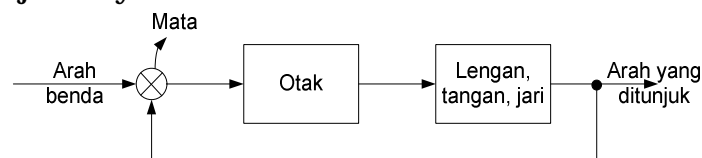
### 1. Sistem Kontrol Temperatur Oven



Misalkan kita hendak membuat sistem oven yang dapat dikendalikan sehingga temperatur oven dapat tetap dijaga pada suhu yang dikehendaki dan tidak membuat kue yang dipanggang menjadi terlalu kering atau terlalu basah. Oleh karena itu, kita buatlah suatu model dimana komponen yang dibutuhkan untuk sistem ini terdiri atas sensor panas, saklar, pemanas dan oven. Mula-mula kita menentukan suhu acuanya, misal 70°C, dan suhu acuan ini dibandingkan dengan menggunakan komparator/pembanding terhadap suhu oven mula-mula yang diukur dengan menggunakan sensor panas. Bila suhu oven lebih kecil daripada suhu acuan, maka sensor akan meminta saklar untuk aktif (ON) dan saklar ini akan membuat heater bekerja memanasi oven sehingga oven menjadi panas.

Instruksi ini tetap berjalan sampai suhu oven yang sebenarnya menjadi sama atau lebih besar daripada temperatur acuan. Bila lebih besar, maka sensor akan menyebabkan saklar menjadi tidak aktif (OFF) dan heater tidak bekerja serta temperatur oven turun. Bila kemudian temperatur oven sebenarnya lebih kecil dari temperatur acuan, maka instruksi kerja awal dilakukan sekali lagi. Hal ini akan terus berlanjut sehingga temperatur yang lebih kecil atau lebih besar dapat dihindari.

### 2. Sistem Penunjuk Obyek/Benda



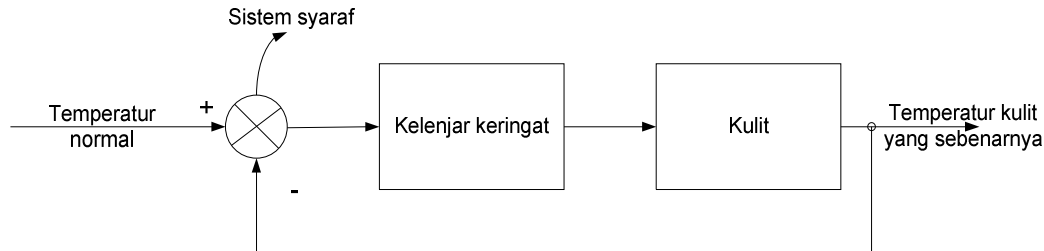
Bahkan pada tubuh manusia pun, memiliki sistem yang dapat dimodelkan. Misal sistem penunjuk benda. Arah benda yaitu dimana benda diletakkan merupakan input yang diterima oleh mata. Di sini mata berfungsi sebagai komparator yang membandingkan antara arah yang ditunjuk oleh jari telunjuk kita terhadap arah dimana benda berada. Pada saat ini kita hendak mengatakan “itu buku” yang letaknya di sebelah kiri kita dan pada ketinggian 30° pada permukaan sebuah meja. Posisi tangan kanan yang hendak menunjuk benda, mula-mula berada pada kondisi merapat pada tubuh berarti





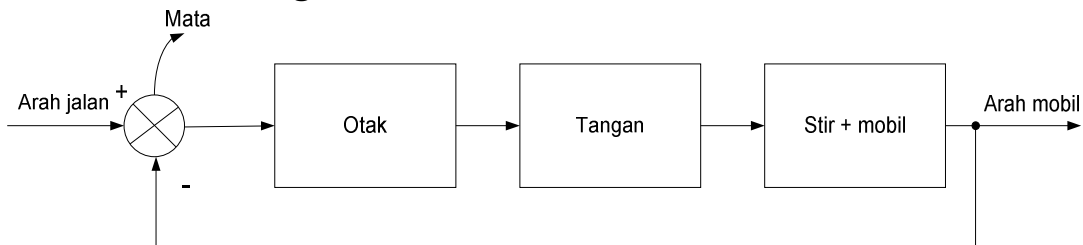
belum pada posisi 30° di sebelah kanan. Mata melakukan perbandingan dan dinyatakan posisi belum benar. Mata memberitahukan kepada otak untuk menggerakkan lengan, tangan dan jari telunjuk ke arah benda yang hendak di tunjuk. Pekerjaan ini akan terus berulang sampai telunjuk menunjuk tepat pada posisi buku.

### 3. Sistem Kontrol Temperatur Kulit



Demikian pula halnya dengan sistem kontrol temperatur kulit. Temperatur normal tubuh/kulit ditentukan dan ini dibandingkan dengan menggunakan sistem syaraf yang ada. Bila kita habis berlari-lari dan kepanasan, maka temperatur kulit yang sebenarnya akan lebih tinggi daripada temperatur normal. Oleh karena itu, sistem syaraf akan memerintahkan kelenjar keringat untuk memproduksi keringat sehingga kondisi temperatur kulit dapat mencapai kondisi normal

### 4. Sistem Kontrol Mengendarai Mobil



Pada saat kita mengendarai mobil pun, mata akan melakukan perbandingan antara arah mobil terhadap arah jalan. Bila arah mobil menyimpang dari arah jalan, maka mata akan memerintahkan kepada tangan untuk menggerakkan stir dan mobil kembali ke arah jalan yang benar.

Jadi permodelan dapat dilakukan untuk berbagai jenis kegiatan atau proses.

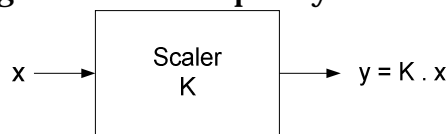
## SISTEM DASAR

Dalam membangun sebuah sistem dan menjabarkannya ke dalam model matematis, ada beberapa sistem dasar yang dipergunakan yaitu :



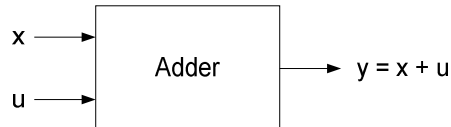
### Ø Scaler

Merupakan sistem dimana keluaran/output-nya sama dengan suatu konstanta dikalikan dengan masukan/input-nya



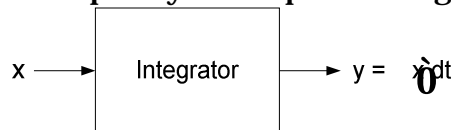
### Ø Adder

Merupakan sistem dimana output-nya merupakan penjumlahan dari dua/lebih input-nya



### Ø Integrator

Merupakan sistem dimana output-nya merupakan integrasi dari input-nya



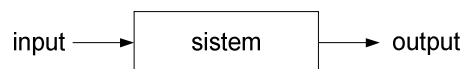
Ketiga sistem dasar inilah yang digunakan dalam permodelan secara matematis dan dapat dikembangkan dengan menggabungkan setiap bagian tergantung dari fungsi matematis yang hendak digunakan.

Sistem secara garis besar dibagi menjadi sistem tanpa umpan balik (open loop control system) dan sistem dengan umpan balik (closed loop control system), penggambaran sistem dalam elektronika digambarkan dengan menggunakan blok diagram.

Blok Diagram adalah gambaran dari hubungan sebab dan akibat diantara input dan output dari suatu sistem fisik.

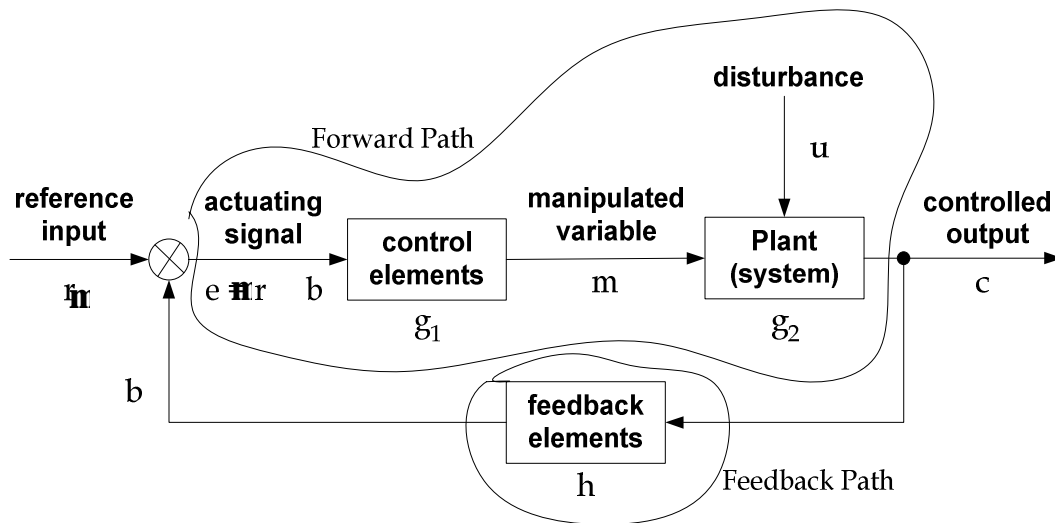
### Open Loop Control System/Sistem Tanpa Umpan Balik/Sistem Kontrol Terbuka

→ Sistem kontrol dimana aksi kontrol tidak tergantung pada output



### Closed Loop Control System/Sistem Dengan Umpan Balik/Sistem Kontrol Tertutup

→ Sistem kontrol dimana aksi kontrol tergantung pada output



Blok diagram dari sistem dengan umpan balik terdiri atas :

**Input** : stimulus/eksitasi yang diberikan pada sistem kontrol dari sumber energi eksternal, biasanya untuk menghasilkan respons dari sistem kontrol

**Output** : respons sebenarnya dari sistem kontrol

**Feedback** : sifat dari sistem kontrol tertutup yang memperbolehkan output untuk dibandingkan dengan input sehingga aksi kontrol yang sesuai/cocok dapat dibentuk sebagai fungsi dari output dan input

**Negative feedback** :  $e = r - b$

**Positive feedback** :  $e = r + b$

**Plant ( $g_2$ )** : disebut juga sistem yang dikontrol bisa berupa proses atau mesin

**Control elements ( $g_1$ )** :

disebut juga controller adalah komponen yang diperlukan untuk menghasilkan sinyal kontrol yang sesuai ( $m$ ) yang diberikan ke plant ( $g_2$ )

**Feedback elements ( $h$ )** :

komponen yang diperlukan untuk menetapkan hubungan fungsional diantara sinyal feedback ( $b$ ) dan output ( $c$ )

**Reference input ( $r$ )** :

merupakan sinyal eksternal yang diberikan pada feedback control system ( $b$ ) untuk memerintahkan aksi tertentu pada plant ( $g_2$ )

**Controlled output ( $c$ )** :

merupakan besaran atau kondisi dari plant ( $g_2$ ) yang dikontrol

**Actuating signal ( $e$ )** :

disebut juga error atau aksi kontrol, merupakan jumlah aljabar dari reference input ( $r$ ) plus atau minus (biasanya minus) sinyal feedback ( $b$ )



**Manipulated variable (m) :**

disebut juga sinyal kontrol, merupakan besaran/kondisi yang diberikan kontrol elements ( $g_1$ ) ke plant ( $g_2$ )

**Disturbance (u) :**

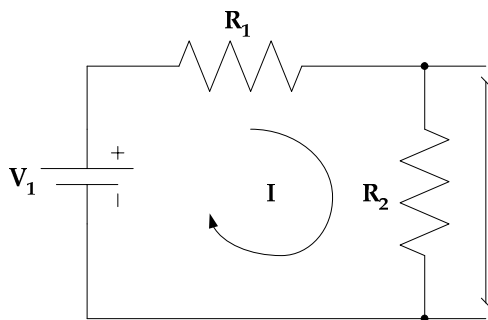
merupakan sinyal input yang tidak diinginkan yang akan mempengaruhi nilai dari output yang dikontrol (c)

**Feedback signal (b) :**

sinyal yang merupakan fungsi dari output (c) dan secara aljabar dijumlahkan dengan reference input (r) untuk menghasilkan actuating signal (e)

**Contoh soal:**

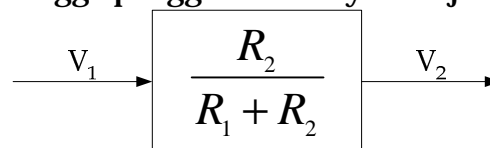
Nyatakanlah  $V_2$  dengan menggunakan sistem tanpa umpan balik dan sistem dengan umpan balik



Untuk mencari  $V_2$ , dapat dipergunakan rumus pembagi tegangan yaitu

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1$$

$V_2$  Persamaan ini sudah memperlihatkan bentuk sistem tanpa umpan balik, sehingga penggambarannya menjadi:



untuk mencari sistem dengan menggunakan umpan balik, maka dilakukan pencarian besarnya arus yang digunakan. Kunci dari membuat persamaan yang dapat mewakili sistem dengan umpan balik adalah :

1. Besaran yang dipergunakan pada input harus sama dengan besaran yang digunakan pada output. Apabila besarnya tidak sama, maka pada bagian feedback element harus dilakukan konversi agar besarnya menjadi sama.
2. Usahakan bentuk persamaannya pada bagian input terdapat pula komponen output-nya.

$$I = \frac{V_1}{R_1 + R_2} \rightarrow V_2 = I \cdot R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1$$

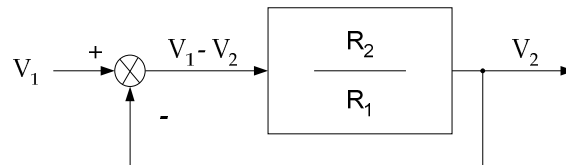
$$V_2 \cdot R_1 + V_2 \cdot R_2 = R_2 \cdot V_1$$

$$V_2 \cdot R_1 = R_2 \cdot V_1 - R_2 \cdot V_2$$

$$V_2 = \frac{R_2 \cdot V_1}{R_1} - \frac{R_2}{R_1} \cdot V_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot (V_1 - V_2)$$

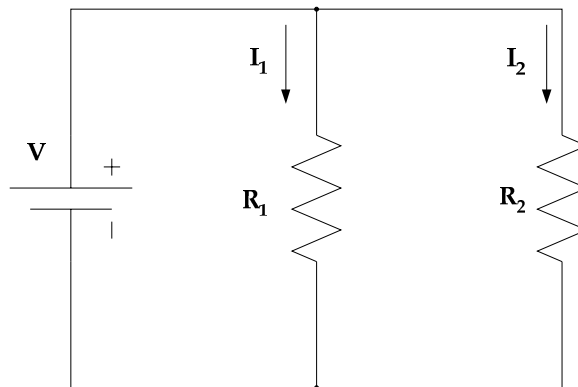


perhatikan bahwa  $V_2$  dalam hal ini adalah output dan hasil persamaannya juga mengandung dirinya sendiri, sehingga blok diagram untuk sistem dengan umpan balik menjadi:



**Soal Latihan :**

Nyatakan  $I_2$  dengan menggunakan sistem tanpa umpan balik dan sistem dengan umpan balik !





## SISTEM TANPA UMPAN BALIK DAN SISTEM DENGAN UMPAN BALIK

Pertanyaan mendasar mengenai kapan kita menggunakan sistem dengan umpan balik dan kapan kita menggunakan sistem tanpa umpan balik, hanya dapat dijawab dengan memperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari sistem secara keseluruhan.

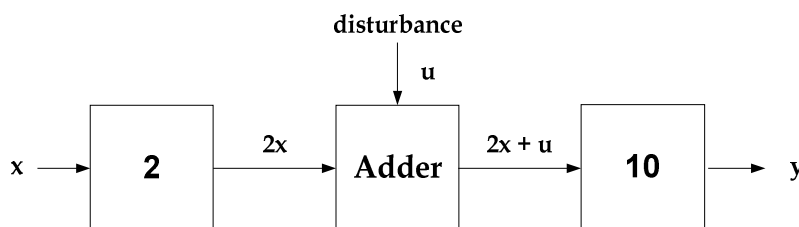
Kelebihan dengan menggunakan open loop control system adalah respon time sistem yang cepat, model sistem yang lebih sederhana, dan murah. Namun demikian, beberapa kelemahan yang mungkin terjadi adalah sistem menjadi tidak akurat atau tidak presisi. Sistem dengan menggunakan motor step sangat baik dipergunakan untuk sistem tanpa umpan balik ini.

Kelebihan dari closed loop control system adalah sistem yang memiliki tingkat akurasi dan presisi yang cukup tinggi, serta dapat menekan pengaruh gangguan. Sedangkan kelemahannya adalah model sistem yang lebih rumit serta lebih mahal. Penggunaan sistem dengan umpan balik ini sangat disarankan bagi sistem-sistem yang cukup besar. Aplikasi menggunakan motor DC sangat dianjurkan untuk menggunakan sistem ini. Sedangkan sebagai pembanding antara output dan input, biasanya digunakan berbagai jenis sensor dan komparator. Marilah kita melihat aplikasi suatu model matematis berikut ini:

### SISTEM LENGAN ROBOT DENGAN MODEL MATEMATIS

Pada model kali ini, dimisalkan kita hendak membuat sistem pengaturan lengan robot sederhana yang terdiri atas 2 komponen utama yaitu motor dan lengan robot. Lengan robot ini dapat bergerak secara bebas sepanjang sumbu X yaitu ke arah kiri dan kanan. Lengan robot sederhana ini diharapkan dapat bergerak ke posisi yang diharapkan dan memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi.

Pendekatan pertama adalah dengan melakukan permodelan secara matematis terhadap lengan robot sederhana ini dan modelnya pun dibuat sesederhana mungkin dengan menggunakan open loop control system. Blok diagramnya adalah sebagai berikut





Control element (2) merupakan motor robot dan plant (10) merupakan lengan robot yang hendak dikendalikan. Input ( $x$ ) berupa tegangan yang diberikan kepada control element (2), dan output-nya ( $y$ ) berupa posisi atau arah pergeseran lengan ke kiri atau ke kanan. Adder di sini merupakan elemen penjumlahan gangguan ( $u$ ) terhadap control elemen (2). Gangguan pada lengan robot ini bisa berupa gesekan atau beban/massa. Maka penyelesaian secara matematisnya menjadi :

$$y = (2x + u) \cdot 10 = 20x + 10u \quad \dots(1)$$

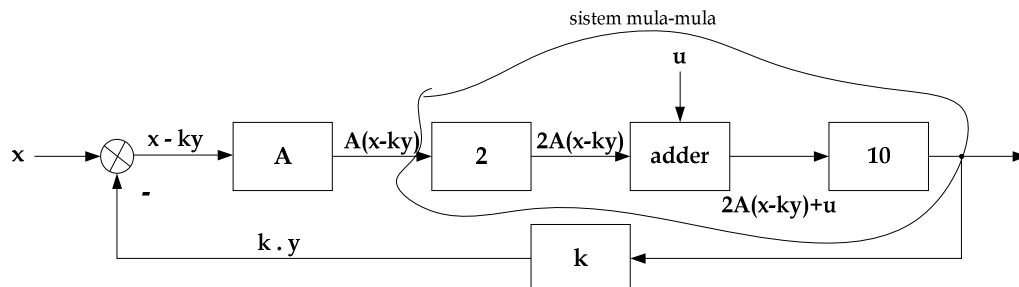
Arti dari persamaan ini adalah output sistem sangat terpengaruh terhadap gangguan sebesar 10 kalinya. Bila gangguan berharga negatif, maka unjuk kerja/kinerja sistem menjadi semakin kecil.

Bagaimanakah menekan pengaruh gangguan ini ?

Salah satu cara yang dapat ditawarkan untuk mengurangi pengaruh gangguan di sini adalah dengan menggunakan closed loop system. Berarti, output dari sistem harus diumpan balik ke input. Kendala yang harus dipertimbangkan adalah besaran dari output yang berupa arah/posisi tidaklah sama dengan besaran dari input yaitu tegangan, serta jenis pembanding yang seperti apa yang hendak kita gunakan.

Oleh karena itu, penggunaan konversi besaran pada bagian feedback dan penggunaan sensor sebagai pembanding dapat dijadikan bahan pertimbangan. Penambahan komponen sensor dan konversi ini akan diuji secara matematis. Diharapkan dengan penambahan ini, lengan robot dapat bergerak secara akurat ke posisi yang diinginkan. Peletakaan sensor atau pemilihan jenis sensor yang ingin digunakan (IR atau switch) tergantung dari aplikasinya nanti.

Sehingga bentuk blok diagram closed loop control system menjadi





maka persamaan output-nya menjadi

$$\begin{aligned}
 y &= [2A(x - ky) + u] \cdot 10 \\
 &= 20A(x - ky) + 10u = 20Ax - 20Aky + 10u \\
 y + 20Aky &= 20Ax + 10u \\
 y(1 + 20Ak) &= 20Ax + 10u \\
 y &= \frac{20A}{1 + 20Ak} \cdot x + \frac{10}{1 + 20Ak} \cdot u \quad \dots(2)
 \end{aligned}$$

**Perhatikanlah!**

Bahwa bentuk persamaan (2) menyerupai persamaan (1) dimana agar

$$\frac{20A}{1 + 20Ak} \cdot x \text{ sama dengan } 20x, \text{ maka } \frac{A}{1 + 20Ak} \text{ haruslah sama dengan } 1.$$

$$\text{Lihatlah: } \frac{20A}{1 + 20Ak} \cdot x = 20x \Rightarrow \frac{A}{1 + 20Ak} = \frac{20x}{20x} \text{ maka } \frac{A}{1 + 20Ak} = 1$$

$$\text{Begitu pula untuk } \frac{10}{1 + 20Ak} \cdot u \text{ agar gangguan (u) dapat ditekan, maka } \frac{1}{1 + 20Ak} \text{ harus diubah menjadi } \frac{1}{u}.$$

Misalkan saja gangguan (u) didefinisikan sebesar 40 kali, maka

$$1 + 20Ak = 40 \quad \dots(3)$$

$$\frac{A}{1 + 20Ak} = 1 \rightarrow 1 + 20Ak = A \quad \dots(4)$$

Dari persamaan (3) dan (4) didapatkan harga  $A = 40$  dan bila dimasukkan dalam persamaan (3) menjadi

$$1 + 20 \cdot 40 \cdot k = 40$$

$$800k = 39 \rightarrow k = \frac{39}{800}$$

nilai A dan k dimasukkan ke persamaan (2) sehingga :

$$y = (1) \cdot 20x + \left( \frac{1}{40} \right) 10u$$

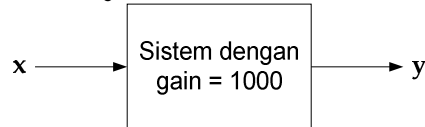
terlihatlah bahwa dengan menggunakan umpan balik, pengaruh gangguan (u) dapat ditekan seminimal mungkin atau mendekati harga gangguan yang sesungguhnya.



**Contoh soal:**

Bagaimana output dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan?

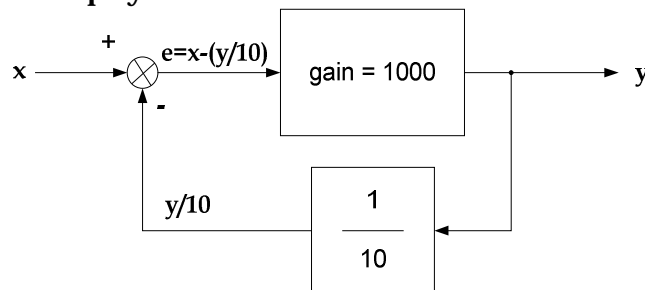
Ditinjau dari open loop control system



Sistem tanpa umpan balik ini rawan terhadap kelemahan internal. Outputnya  $y=1000x$ , bila gain turun sebesar 10% menjadi 900, maka  $y=900x$

∴ Jika gain turun 10%, maka output akan turun 10%

Ditinjau dari closed loop system



maka output-nya  $y = 1000 \left( x - \frac{y}{10} \right) = 1000x - 100y \rightarrow y = \frac{1000}{101} x \approx 10x$  bila gain

turun menjadi 900, maka  $y = 900 \left( x - \frac{y}{10} \right) = 900x - 90y \rightarrow y = \frac{900}{91} x \approx 10x$ .

∴ Jika gain turun 10% pun, output tidak akan berpengaruh

**TRANSFORMASI LAPLACE**

Sistem yang digunakan dalam bidang fisika biasanya merupakan sistem yang bersifat dinamis, artinya sistem senantiasa berubah terhadap waktu. Misalnya saja kecepatan yang artinya posisi yang berubah terhadap waktu. Untuk menyelesaikan persamaan yang berubah terhadap waktu diperlukan teknik matematik yaitu kalkulus yg dikembangkan oleh Newton – Leibniz, karena pada masa itu matematika lama belum dapat menyelesaikan permasalahan yang bersifat dinamis. Kalkulus ini dikembangkan dengan kemampuan matematika limit dan diferensial. Diferensial adalah perubahan yang terjadi pada suatu titik pada suatu saat.

Namun demikian, persamaan diferensial ini sulit maka Laplace kemudian mengembangkan teori determinisme (tertentu). Determinisme menyatakan bila



kita mengetahui keadaan saat ini (waktu, posisi, kecepatan, masa, dll), maka kita mengetahui keadaan yang lalu dan yang akan datang. Laplace juga menemukan transformasi.

Transformasi → perubahan cara pandang dalam melihat sesuatu dengan tujuan untuk mempermudah penyelesaian masalah. ~Endra~

Dengan adanya transformasi Laplace ini pengerjaan persamaan diferensial menjadi lebih mudah karena persamaan diferensial ini diubah menjadi bentuk aljabar.

Misal

$$S = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$\downarrow$                        $\longrightarrow$   
 merupakan turunan pertama      merupakan turunan kedua

Transformasi Laplace dari suatu fungsi waktu  $F(t)$  didefinisikan sebagai

$$L\{F(t)\} = f(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} F(t) dt$$

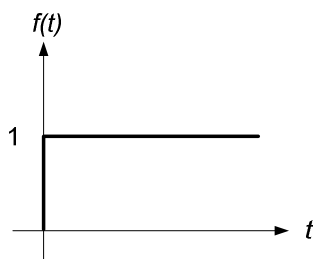
Tabel 1. Beberapa Transformasi Laplace untuk fungsi waktu

$f(t)$	$F(s)$
Unit step → $u(t)=1$	$1/s$
Ramp → $At$	$A/s^2$
Decaying eksponensial → $Ae^{at}$	$A/(s+a)$
$\frac{d^n f(t)}{dt^2}$	$s^n F(s)$

Beberapa contoh penjabaran Transformasi Laplace:

#### Ø Fungsi Step (anak tangga)

Fungsi ini seringkali digunakan karena dapat dianalogikan dengan sinyal DC pada elektronika. Penjabaran Transformasi Laplace untuk fungsi ini:



$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$

menggunakan dalil

$$F(s) = \lim_{u \rightarrow \infty} \int_0^u 1 \cdot e^{-st} dt$$



**Dalil:**

$$\lim_{s \rightarrow \infty} e^{-st} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1}{e^{st}} = \frac{1}{e^{\infty}} = \frac{1}{\infty} = 0$$

$$\int e^{f(u)} du = \frac{1}{f'(u)} e^{f(u)}$$

$$\int e^{-st} dt = -\frac{1}{s} e^{-st}$$

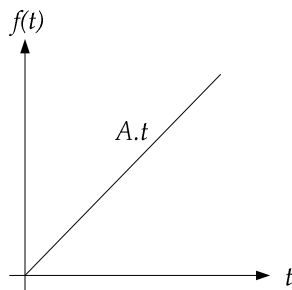
Dengan menggunakan dalil ini, maka persamaan di atas diselesaikan menjadi

$$F(s) = \lim_{u \rightarrow \infty} \int_0^u -\frac{1}{s} de^{-st} = -\frac{1}{s} e^{-st} \Big|_0^u = -\frac{1}{s} (e^{-\infty} - e^0)$$

$$F(s) = -\frac{1}{s} (0 - 1) = \frac{1}{s}$$

$\therefore$  untuk fungsi step  $F(s) = 1/s$

### Ø Fungsi Ramp (tanjak)



$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt = \int_0^{\infty} A \cdot t \cdot e^{-st} dt$$

$$F(s) = \lim_{u \rightarrow \infty} A \int_0^u t \cdot e^{-st} dt$$

Jika kita amati, bentuk persamaan integral ini sama dengan bentuk  $\int u \cdot dv$ , maka kita menggunakan dalil penyelesaiannya.

**Dalil:**

$$\int u \cdot dv = u \cdot v - \int v \cdot du$$

misal:  $u = t$  maka  $du = dt$

$$dv = e^{-st} dt \text{ maka } v = -\frac{1}{s} e^{-st}$$

Masukkan kembali ke persamaan awal sehingga menjadi

$$F(s) = \lim_{u \rightarrow \infty} A \left[ t \cdot \left( -\frac{1}{s} \right) \cdot e^{-st} \Big|_0^u - \int_0^u \left( -\frac{1}{s} \right) \cdot e^{-st} dt \right]$$

$$F(s) = \lim_{u \rightarrow \infty} A \left[ \left( -\frac{1}{s} \right) \left\{ t \cdot e^{-st} \Big|_0^u - \int_0^u e^{-st} dt \right\} \right]$$

perhatikan suku pertama  $t \cdot e^{-st}$  dimana  $\lim_{u \rightarrow \infty} t \cdot e^{-st} = \lim_{u \rightarrow \infty} u \cdot e^{-su} = \lim_{u \rightarrow \infty} \frac{u}{e^{su}}$  dan

bentuk ini hanya dapat diselesaikan dengan menggunakan Dalil L'Hospitale karena  $\frac{\infty}{\infty}$  adalah tak tentu, maka  $\lim_{u \rightarrow \infty} \frac{u}{e^{su}} = \frac{1}{\infty} = 0$ . Jadi kembali ke persamaan

$$\text{di atas } F(s) = \lim_{u \rightarrow \infty} A \left[ \left( -\frac{1}{s} \right) \cdot \left\{ 0 - \frac{1}{s} \right\} \right] = A \cdot \left( \frac{1}{s^2} \right) = \frac{A}{s^2}$$

**Soal Latihan :**

**Jabarkan Transformasi Laplace untuk Fungsi Decaying Eksponensial !**

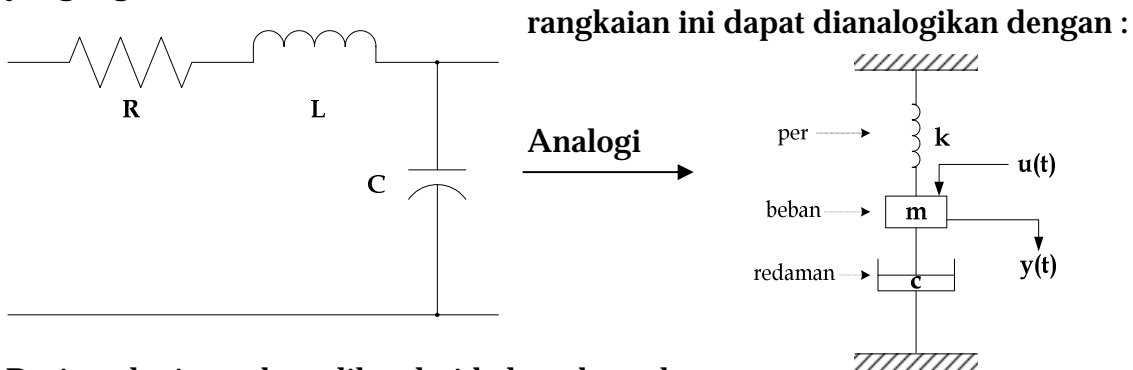


## ANALOGI RANGKAIAN ELEKTRONIK KE BENTUK PERSAMAAN FISIKA

Permodelan secara matematis dilakukan untuk mengetahui/meramalkan kinerja dari sistem yang hendak kita buat. Dalam fisika, setiap hasil akhir dari permodelan, biasanya digunakan Fungsi Alih (Transfer Function) dan State Space, dimana Fungsi Alih dan State Space ini dapat digunakan untuk melihat kinerja sistem setelah diaplikasikan menggunakan komputer.

State Space merubah persamaan fisika yang telah diselesaikan ke dalam bentuk matriks sedangkan Fungsi Alih menggunakan solusi umum dari persamaan fisika tersebut.

Berikut ini contoh memodelkan secara matematis sebuah rangkaian osilator sederhana dengan menganalogikannya dengan model fisika. Rangkaian osilator yang digunakan adalah :



Dari analogi tersebut, diketahui bahwa bentuk persamaan diferensial (PD) untuk Gerak Harmoni Sederhana (menggunakan redaman) adalah :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = u \quad \dots(1)$$

Pada kondisi ini, digunakan metode reduksi, misal

$$x_1 = y \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{y} = x_2 \quad \dots(2)$$

$$x_2 = \dot{y} \rightarrow \dot{x}_2 = \ddot{y}$$

Untuk membuat persamaan ini menjadi bentuk State Space, maka digunakanlah turunan terbesar sebagai acuannya walaupun PD sudah direduksi. Pada persamaan (1), turunan terbesar diusahakan berada pada ruas kiri persamaan, seperti pada persamaan (2) sehingga bentuk persamaan (1) menjadi

$$\ddot{y} + \frac{c}{m} \dot{y} + \frac{k}{m} y = \frac{u}{m} \quad \text{PD ini direduksi menjadi}$$

$$\dot{x}_2 + \frac{c}{m} x_2 + \frac{k}{m} x_1 = \frac{u}{m} \Rightarrow \dot{x}_2 = -\frac{k}{m} x_1 - \frac{c}{m} x_2 + \frac{u}{m} \quad \dots(3)$$



Persamaan (2) dan (3) dimasukkan ke dalam bentuk matriks menjadi

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} u \quad \text{setiap matriks diberi nama}$$

$\dot{x} \qquad A \qquad x \qquad B \quad u$

persamaan output dari persamaan (2)

$$y = x_1 \Rightarrow y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} u \quad \text{setiap matriks diberi nama}$$

$C \quad x \quad D \quad u$

Bentuk matriks ini akan mempermudah dalam pengembangan program komputer untuk analisa dan disain sistem yang besar. Bentuk inilah yang dinamakan State Space.

### FUNGSI ALIH (TRANSFER FUNCTION)

Bila hendak dibuat bentuk Fungsi Alih-nya maka dari bentuk di atas dibuatlah bentuk solusi umum (model ruang keadaan) yaitu

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad \dots(1) \quad \text{masing - masing komponen adalah matriks}$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad \dots(2)$$

Bentuk solusi umum ini kemudian diubah ke dalam Transformasi Laplace. Transformasi Laplace untuk turunan bisa dilihat pada tabel 1 (hal 14), maka persamaan (1) dan (2) menjadi

$$SX(s) = AX(s) + BU(s) \quad \dots(3)$$

$$Y(s) = CX(s) + DU(s) \quad \dots(4)$$

dimana S adalah skalar

Persamaan (3) dijabarkan menjadi

$SX - AX = BU$  karena S adalah skalar, maka perlu dikalikan dengan matriks identitas

$$(SI - A)X = BU \Rightarrow X = \frac{B}{(SI - A)} \cdot U \quad \dots(5)$$

Persamaan (4) dijabarkan menjadi

$Y = CX + DU$  masukkan ke persamaan (5)

$$Y = \frac{CBU}{(SI - A)} + DU \Rightarrow Y = C(SI - A)^{-1}BU + DU \quad \text{ingat : pangkat -1 artinya invers matriks}$$

$$\frac{Y}{U} = C(SI - A)^{-1}B + D \quad \text{matriks D dapat dihilangkan karena isinya 0}$$

$$\text{Fungsi Alih : } G(s) = \frac{Y}{U} = C \cdot \frac{\text{adj}(SI - A)}{|SI - A|} \cdot B$$



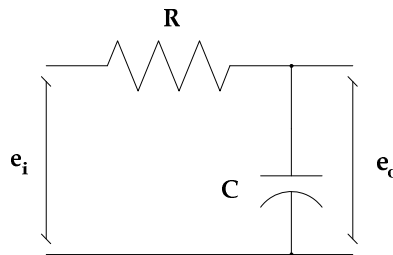
Misal masing-masing matriks diberi harga sebagai berikut :

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -3 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad C = [1 \quad 0];$$

$$SI - A = \begin{bmatrix} S & -1 \\ 2 & S+3 \end{bmatrix} \Rightarrow (SI - A)^{-1} = \frac{1}{S^2 + 3S + 2} \begin{bmatrix} S+3 & 1 \\ -2 & S \end{bmatrix}$$

$$G(s) = C \cdot (SI - A)^{-1} \cdot B = [1 \quad 0] \frac{\begin{bmatrix} S+3 & 1 \\ -2 & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}}{S^2 + 3S + 2} \Rightarrow G(s) = \frac{S+3}{(S+1)(S+2)}$$

**Contoh aplikasi dengan menggunakan rangkaian RC:**



Pada rangkaian ini, untuk mencari Fungsi Alih-nya harus dilakukan perbandingan antara output dengan input ( $e_o/e_i$ ) dimana hasil perbandingannya akan menunjukkan kinerja dari rangkaian RC ini. Untuk merubah persamaan listrik ke dalam PD, perlu diketahui komponen apa yang senantiasa berubah terhadap waktu. Besaran R, C dan tegangan adalah tetap sedangkan arus selalu berubah terhadap waktu dan dalam hal ini muatannya. Maka penjabaran penyelesaian secara matematis untuk rangkaian RC ini menjadi:

$$e_i = R \cdot i + \frac{1}{C} \int i \, dt = R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}; \quad e_o = \frac{q}{C} \rightarrow q = e_o \cdot C$$

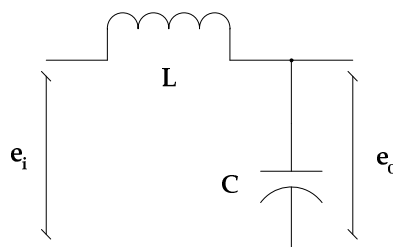
Transformasi Laplace dari persamaan ini menjadi

$$RsQ(s) + \frac{Q(s)}{C} = E_i(s) \Rightarrow E_i(s) = RsE_o(s)C + E_o(s) = (1 + RsC) \cdot E_o(s)$$

$$G(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{1 + RsC}$$

**Soal :**

Carilah Fungsi Alih untuk rangkaian LC berikut ini:





Apabila Fungsi Alih diketahui, maka persamaan output-nya juga dapat dicari. Perhatikan contoh berikut ini!

**Contoh :**

Tentukanlah persamaan output untuk  $G(s) = \frac{1}{s^3 + 7s^2 + 6}$  dimana  $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{s^3 + 7s^2 + 6} \rightarrow s^3 Y + 7s^2 Y + 6Y = u \rightarrow \ddot{y} + 7\dot{y} + 6y = u \text{ gunakan PD reduksi}$$

$$\text{misal: } x_1 = y \rightarrow \dot{x}_1 = x_2 \quad \dots(1)$$

$$x_2 = \dot{x}_1 \rightarrow \dot{x}_2 = x_3 \quad \dots(2) \text{ persamaan ini disubstitusikan ke persamaan awal}$$

$$x_3 = \dot{x}_2 \rightarrow \dot{x}_3 = \ddot{x}_3$$

$$\ddot{x}_3 = -6x_1 - 7x_3 + u \quad \dots(3) \text{ maka persamaan (1), (2) dan (3) diubah dalam bentuk}$$

$$\text{matriks menjadi } \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -6 & 0 & -7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \rightarrow \text{disebut persamaan keadaan}$$

$$\text{persamaan output-nya } y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Keuntungan dari penggunaan Transformasi Laplace untuk penyelesaian PD pada persamaan fisika adalah:

1. Memungkinkan peramalan kinerja sistem dengan menggunakan sistem grafis tanpa menyelesaikan PD
2. Dapat dilihat komponen transien maupun komponen keadaan steady dengan menyelesaikan PD - nya

### MODELING DENGAN MATLAB

Dengan menggunakan program MATLAB akan dilakukan salah satu contoh permodelan dan ditinjau kinerja dari model tersebut. Contoh modeling ini dapat di-download di <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/>

Berikut ini adalah salah satu contoh modeling sebuah mobil yang hendak dikendalikan dengan beberapa persyaratan kinerja yang diberikan.

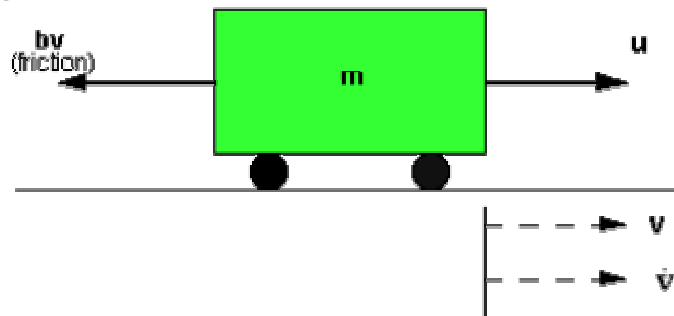


## MEMODELKAN SISTEM PENGENDALIAN MOBIL

### SETUP FISIS DAN PERSAMAAN SISTEM

Kita diharapkan merancang sebuah sistem pengendalian mobil dimana gaya yang dibangkitkan oleh mesin mobil tersebut sebesar 500 Newton. Adapun kecepatan maksimum dari mobil tersebut adalah sebesar 10 m/det dan mobil ini mampu menambah kecepatannya kurang dari 5 detik setelah mesin dinyalakan. Sistem pengendalian mobil ini memperbolehkan terjadinya lonjakan hanya sebesar 10% dan bila mobil sudah pada kondisi *steady state*, kesalahan yang ditolerir hanya sebesar 2%.

Langkah pertama yang kita lakukan adalah membuat model fisis dari mobil tersebut seperti gambar berikut ini



Pada permodelan ini, inersia roda diabaikan dan besarnya gesekan dianggap proposional dengan kecepatan mobil, dimana:

$v$  adalah kecepatan;  $u$  adalah gaya;  $f$  adalah gaya gesek yang sebanding dengan kecepatan ( $v$ ) yaitu  $bv$  tetapi berlawanan arah dengan  $u$ ; dan  $a$  adalah percepatan yang besarnya  $dv/dt$ .

Dengan menggunakan Hk. II Newton

$$\begin{aligned}\sum u &= m \cdot a \\ u - b \cdot v &= m \cdot \frac{dv}{dt} \\ u &= m \cdot \frac{dv}{dt} + b \cdot v \\ y &= v\end{aligned} \quad \dots(1)$$

diasumsikan  $m = 1000$  kg;  $b = 50$  Ndet/m;  $u = 500$  N

dengan syarat Rise time < 5 detik; Overshoot < 10%; Steady state error < 2%

### FUNGSI ALIH (TRANSFER FUNCTION)

Untuk membuat fungsi alih dari persamaan di atas, kita harus melakukan Transformasi Laplace persamaan (1) dimana diasumsikan kondisi mula-mula adalah nol. Bentuk Transformasi Laplace-ya menjadi





$$msV(s) + bV(s) = U(s)$$

$$Y(s) = V(s)$$

Karena output-nya adalah kecepatan, maka substitusikan  $V(s)$  ke  $Y(s)$

$$msY(s) + bY(s) = U(s)$$

Fungsi Alihnya menjadi  $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms + b}$

Bentuk ini sudah bisa diselesaikan dengan menggunakan bantuan program MATLAB. Berikut adalah perintah dalam bentuk m-file

```
m=1000;
b=50;
u=500;
num=[1];
den=[m b];
```

Perintah ini nantinya akan digunakan untuk melihat kinerja sistem dengan menggunakan sistem tanpa umpan balik. Sebelum ini diaplikasikan, marilah kita lihat penyelesaian yang menggunakan State Space.

### STATE SPACE

Persaman (1) diubah ke dalam bentuk matriks sehingga menjadi

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{m} \end{bmatrix} [v] + \begin{bmatrix} \frac{1}{m} \end{bmatrix} [u]$$

$$y = [1] [v]$$

Apabila persamaan ini hendak dikerjakan dengan menggunakan MATLAB, maka buatlah m-file baru dengan perintah

```
m = 1000;
b = 50;
u = 500;
A = [-b/m];
B = [1/m];
C = [1];
D = 0;
```

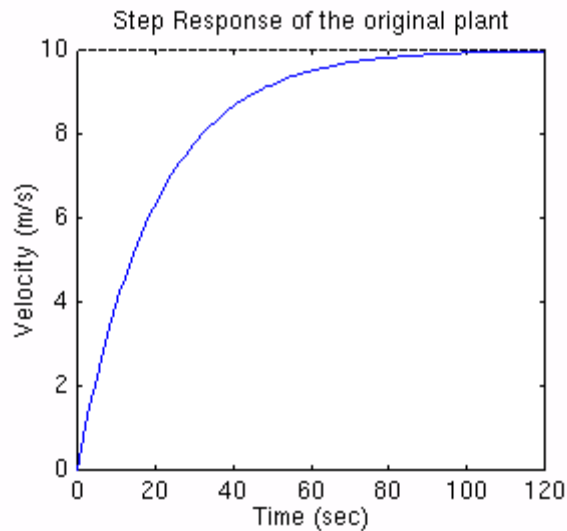
### SISTEM TANPA UMPAN BALIK

Bagaimana respon dari sistem tanpa umpan balik terhadap step input dapat dilihat dengan menambahkan perintah berikut ini ke dalam m-file untuk Fungsi Alih (yang menggunakan matriks *num* dan *den*) dan jalankan dalam MATLAB

```
step (u*num,den)
```



maka hasilnya adalah



Gambar 1. Hasil plot dengan menggunakan m-file

Apabila hendak menggunakan m-file dari State Space (yang menggunakan matriks A, B, C, dan D), maka tambahkanlah perintah berikut ini di akhir perintah dan jalankan dalam MATLAB

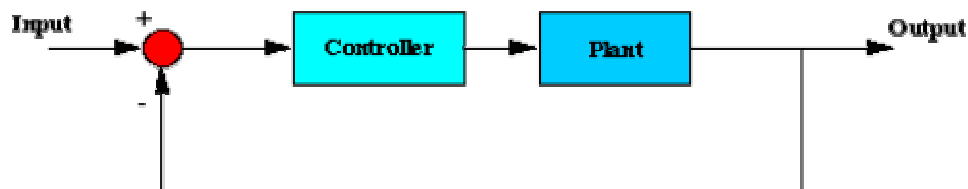
```
step (A,u*B,C,D)
```

maka hasil yang didapat akan sama dengan gambar di atas.

Dari gambar 1 tersebut terlihat bahwa mobil membutuhkan waktu lebih dari 100 detik untuk mencapai kecepatan stabil sebesar 10m/det. Hal ini tidak memenuhi persyaratan sistem yang diharapkan memiliki respon time kurang dari 5 detik.

### SISTEM DENGAN UMPAN BALIK

Untuk menyelesaikan permasalahan yang ditemukan pada saat sistem diaplikasikan dengan menggunakan sistem tanpa umpan balik, sebuah pengendali umpan balik (feedback controller) ditambahkan ke dalam sistem guna meningkatkan kinerja sistem, sehingga bentuknya menjadi

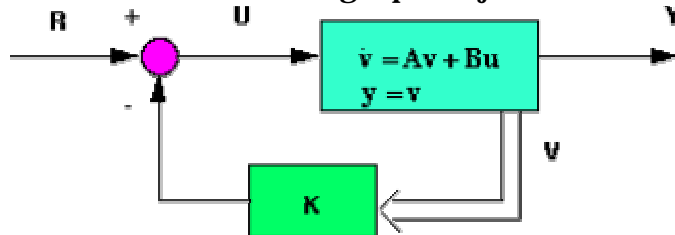




Di sini digunakan teknik “pole placement” pada State Space untuk menyelesaikan sistem dengan umpan balik. Cek website berikut ini untuk penjelasan lebih lanjut

<http://www.engin.umich.edu/group/ctm/state/state.html>

Desain sistem keseluruhan secara lengkap menjadi



dimana  $K$  adalah matriks pengendali;  $U = -Kv$  merupakan input; dan  $R$  adalah referensi.

Kutub dari sistem dengan umpan balik ini didapatkan dari persamaan karakteristik berikut ini: determinan dari matriks  $[sI - (A - B \cdot K)]$ . Jika kutub ditempatkan ke dalam sistem dengan merancang matriks pengendali ( $K$ ), maka dapat dihasilkan output yang diinginkan. Pada kondisi ini, kutub ditentukan terlebih dahulu barulah matriks pengendali ( $K$ ).

Untuk menentukan kutub yang hendak digunakan perlu diperhatikan jenis matriks yang dipakai. Karena matriks  $[sI - (A - B \cdot K)]$  adalah  $1 \times 1$ , berarti hanya boleh ada satu kutub yang diletakkan. Kutub yang digunakan adalah -1,5 dan fungsi **place** dalam MATLAB akan digunakan untuk mendapatkan matriks pengendali ( $K$ ). Perintah dalam MATLAB yang digunakan menjadi

```
m=1000;
b=50;
t=0:0.1:10;
u=500*ones(size(t));

A=[-b/m];
B=[1/m];
C=[1];
D=[0];

x0=[0];

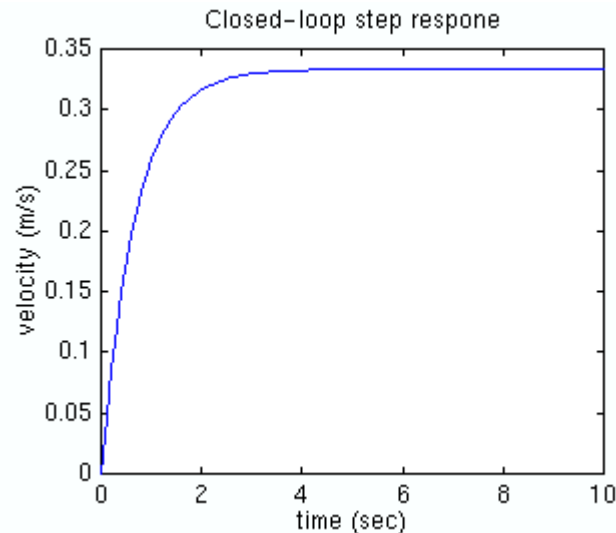
p1=-1.5;

K=place(A,B,[p1])

A1=A-B*K;
lsim(A1,B,C,D,u,t,x0);
```



dan jika perintah ini dijalankan menggunakan MATLAB, maka hasilnya adalah

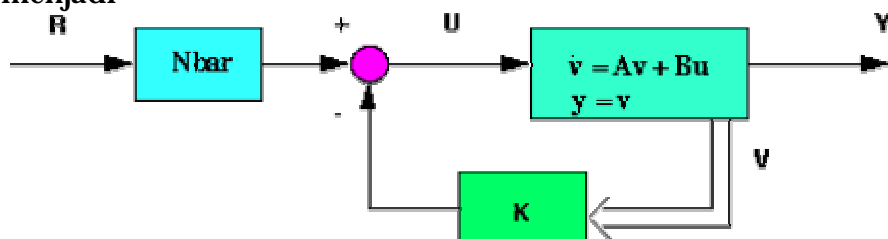


Gambar 2. Hasil pengendalian sistem dengan umpan balik

Pada gambar 2 terlihat bahwa walaupun rise time dipenuhi, kecepatan yang dicapai tidaklah maksimum.

### INPUT REFERENSI

Faktor pen-skala-an juga perlu diperhatikan apabila State Space digunakan. Faktor pen-skala-an  $N_{bar}$  harus digunakan agar error kondisi stabil dapat dihilangkan. Namun demikian, perintah `rscale` tidak dapat digunakan pada sistem ini sehingga  $N_{bar}$  harus dilakukan secara manual. Berikut penggambaran sistem menjadi



Untuk mencari  $N_{bar}$  ini dilakukan uji coba beberapa kali sehingga didapatkan harga  $N_{bar}$  yang sesuai adalah 30. Pergunakanlah perintah berikut ini ke dalam MATLAB



```

m=1000;
b=50;
t=0:0.1:10;
u=500*ones(size(t));
A=[-b/m];
B=[1/m];
C=[1];
D=[0];

x0=[0];

p1=-1.5

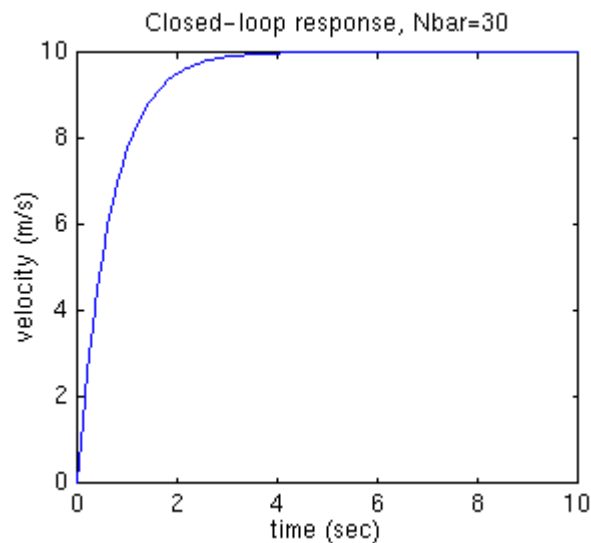
K=place(A,B,[p1]);

Nbar=30;
A1=A-B*K;

lsim(A1,B*Nbar,C,D,u,t,x0);

```

sehingga hasil yang didapatkan



Gambar 3. Hasil plot dengan menggunakan Nbar

Terlihat bahwa error kondisi stabil telah dihilangkan dan rise time kurang dari 5 detik serta sama sekali tidak terjadi lonjakan. Dengan demikian, seluruh persyaratan desain dapat dipenuhi.

Untuk melihat contoh-contoh lainnya dapat dilihat dengan mengunjungi website <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/>



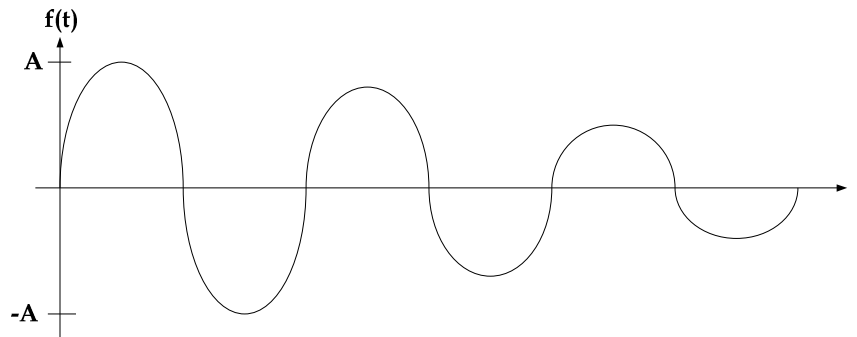
## PENGENALAN SISTEM WAKTU

Selain kita memodelkan sistem secara analog, permodelan juga dapat dilakukan secara diskrit/digital. Permodelan ini tidak akan dibahas lebih detail pada diktat kuliah ini, tetapi pengetahuan dasar mengenai sistem waktu diskrit akan dijabarkan sebagai landasan permodelan sistem secara diskrit.

Secara garis besar sistem waktu dibagi menjadi dua yaitu sistem waktu analog dan sistem waktu diskrit.

### SISTEM WAKTU ANALOG

Analog berarti terus menerus atau kontinu. Sistem waktu analog berarti sistem tersebut diamati secara terus menerus. Berikut ini contoh penggambaran sinyal yang bekerja pada sistem waktu analog.

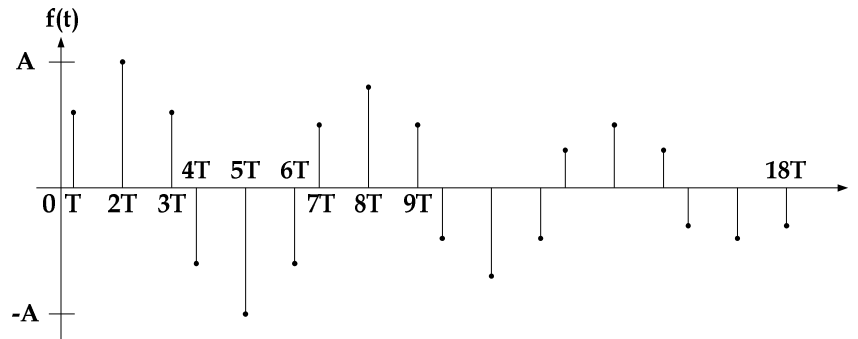


Gambar 3. Sinyal analog

Pada gambar di atas terlihat bahwa pada sinyal analog terdapat besaran yang kontinu dan waktu yang kontinu pula. Ini berarti bahwa pengamatan yang kita lakukan di sepanjang sumbu waktu pada berapa pun  $t$ -nya akan terdapat besaran sinyal. Apakah kita mengamati di  $t = 1$  atau  $t = 3$  atau  $t = 3,7$  dan seterusnya, kita tetap mendapatkan besarnya harga  $f(t)$  dimana  $A$  adalah puncak maksimum sinyal dan  $-A$  adalah puncak minimum sinyal.

### SISTEM WAKTU DISKRIT

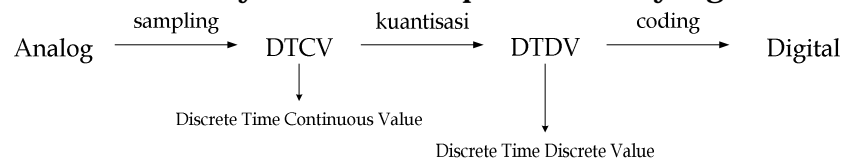
Berbeda dengan analog, diskrit artinya tertentu. Sistem waktu diskrit berarti pada sistem ini hanya diamati pada waktu tertentu saja, tetapi besaran yang diamati senantiasa kontinu. Berikut ini contoh penggambaran sinyal secara sistem waktu diskrit. Sinyal ini merupakan pengkonversian dari sinyal analog di atas.



Gambar 4. Sinyal diskrit

Pada gambar ini terlihat bahwa waktu pengamatan hanya dapat dilakukan pada waktu-waktu yang tertentu saja, yaitu pada saat  $t = T$  atau  $t = 5T$  sampai  $t = 18T$  dan setiap pengamatan terdapat besaran yang kontinu. Dengan kata lain, bila kita mengamati di waktu yang tertentu maka besaran sinyalnya dapat diamati. Tetapi bila kita mengamati di  $t = 0,5T$  atau  $t = 8,7T$  maka kita tidak mendapatkan besaran sinyalnya, oleh karena itu sistem waktu yang seperti ini disebut sistem waktu diskrit.

Sebelum suatu sinyal analog dapat dikerjakan oleh sistem digital (basis komputer), maka sinyal tersebut harus diubah atau dikonversi atau ditransformasikan bentuknya. Berikut tahapan konversi yang dilakukan



1. Pertama-tama, sinyal analog yang hendak diolah menjadi sinyal digital, dicuplik/di-sampling terlebih dahulu sehingga bentuknya menjadi DTCV. DTCV berarti waktu kontinu diubah menjadi tertentu dan di setiap waktu yang telah ditentukan terdapat data yang kontinu. Sampling pada elektronika adalah dengan menggunakan saklar, sedangkan pada optik menggunakan chopper.
2. Sinyal yang sudah DTCV ini (seperti pada gambar 4) kemudian dikuantisasi sehingga menjadi DTDV, artinya harganya dibuat tertentu. Misalkan saja, semua sinyal cuplikannya yang berada di sumbu negatif y dihilangkan. Dengan demikian di sini besaran sinyalnya menjadi tertentu yaitu hanya yang berada di sumbu positif y yang memiliki besaran. Berarti untuk  $T, 2T, 3T, 7T, 8T$ , dst-nya ada besarannya, sedangkan  $4T, 5T, 6T$ , dst-nya tidak memiliki besaran.
3. Setelah didapat sinyal yang sudah DTDV, maka dilakukan pengkodean atas besaran tersebut. Artinya yang ada besarannya diberi logika '1' dan yang tidak ada besarannya diberi logika '0'. Jadi coding yang dihasilkan untuk

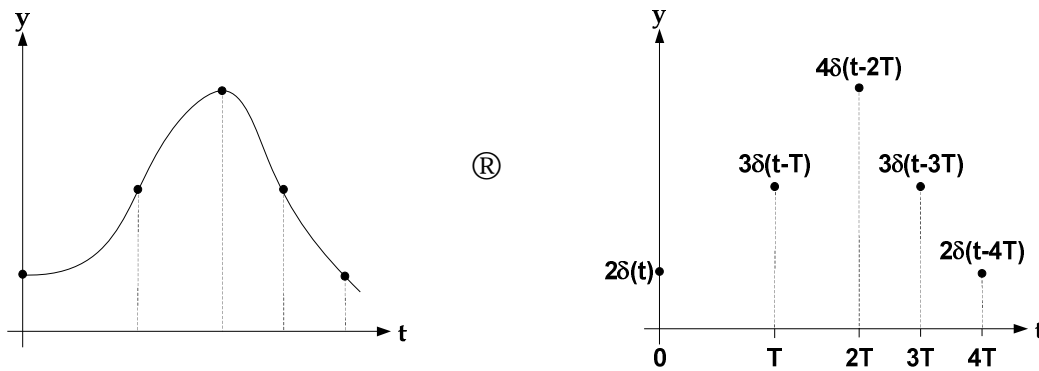


sinyal pada gambar 2 menjadi 111 000 111 000 111 000 dan inilah hasil sinyal digital.

Ini semua merupakan tahapan perubahan sistem waktu analog ke sistem waktu digital. Namun demikian, tahapan perubahan tersebut dapat dilakukan secara matematis sehingga permodelan sistem digital secara matematis pun dapat dilakukan.

## TRANSFORMASI Z

Transformasi Z merupakan tools yang digunakan secara matematis untuk menjabarkan sistem waktu diskrit. Berikut penjabaran matematisnya



Misalkan ada sebuah sinyal analog yang hendak diubah menjadi diskrit, maka sinyal ini dicuplik menjadi seperti gambar di sebelah kanan atas. Sinyal dicuplik untuk  $t = 0$ ,  $t = T$ ,  $t = 2T$ ,  $t = 3T$ , dan  $t = 4T$ . Selain dari pada waktu yang dicuplik tersebut, maka  $y$  tidak memiliki harga. Bila hasil cuplikan ini dikuantisasi, maka persyaratan pencuplikannya menjadi

**Catatan : semakin kecil jarak pencuplikannya maka semakin baik.**

$\delta(t) = 1$  jika  $t = 0$ ; dan  $\delta(t) = 0$  jika  $t \neq 0$

$\delta(t-T) = 1$  jika  $t = T$ ; dan  $\delta(t-T) = 0$  jika  $t \neq T$

$\delta(t-2T) = 1$  jika  $t = 2T$ ; dan  $\delta(t-2T) = 0$  jika  $t \neq 2T$

$\delta(t-3T) = 1$  jika  $t = 3T$ ; dan  $\delta(t-3T) = 0$  jika  $t \neq 3T$

$\delta(t-4T) = 1$  jika  $t = 4T$ ; dan  $\delta(t-4T) = 0$  jika  $t \neq 4T$

Hasil sampling ini menghasilkan deret impulse

$$y^* = 2\delta(t) + 3\delta(t-T) + 4\delta(t-2T) + 3\delta(t-3T) + 2\delta(t-4T) \quad \dots(1)$$

dan Transformasi Laplace dari  $\delta(t) \rightarrow 1$ ;  $\delta(t-T) \rightarrow e^{-Ts}$ ;  $\delta(t-2T) \rightarrow e^{-2Ts}$ , maka persamaan (1) dapat ditulis menjadi

$$y^* = 2 + 3e^{-Ts} + 4e^{-2Ts} + 3e^{-3Ts} + 2e^{-4Ts} \quad \dots(2)$$

dan Transformasi Z dari  $e^{-Ts} = z^{-1}$  dan  $y^* = Y$ , maka persamaan (2) dapat ditulis

$$Y = 2 + 3z^{-1} + 4z^{-2} + 3z^{-3} + 2z^{-4} \quad \dots(3)$$





Transformasi Z ditandai dengan perubahan dari  $y^*$  menjadi Y. Perhatikan! Notasi huruf mempengaruhi apakah sinyal sudah diubah ke dalam bentuk diskrit atau belum. Notasi dengan menggunakan huruf besar biasanya untuk menyatakan bahwa sudah terjadi perubahan dari analog ke diskrit.

Secara matematis, Transformasi Z dapat ditulis

$$x(z) = Z[x(t)] = Z[x(kT)] = Z[x(k)]$$

$$x(z) = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT)z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} x(k)z^{-k}$$

$$x(z) = x(0) + x(T)z^{-1} + x(2T)z^{-2} + \dots + x(kT)z^{-k}$$

Contoh aplikasi menggunakan Transformasi Z untuk Fungsi Tanjak

$x(t) = t$  jika  $t \geq 0$ ; dan  $x(t) = 0$  jika  $t < 0$ , maka

$x(t) = t$  apabila  $x(kT) = kT$  dimana  $k = 0, 1, 2, \dots$

$$x(z) = Z(t) = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT)z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} kTz^{-k}$$

$$x(z) = T(z^1 + 2z^2 + 3z^3 + \dots) \quad \dots(1)$$

deret ini sebaiknya disederhanakan dengan menggunakan deret

$$Sn = z^1 + 2z^2 + 3z^3 + \dots + nz^n + (n+1)z^{(n+1)}$$

$$zSn = 1 + 2z^1 + 3z^2 + 4z^3 + \dots + (n+1)z^n -$$

$$(1-z)Sn = -1 - z^1 - z^2 - z^3 - \dots - z^n + (n+1)z^{(n+1)}$$

$$Sn = \frac{-(1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-n})}{1-z} + \frac{(n+1)z^{-(n+1)}}{1-z} \quad \text{untuk } n = \infty, \text{ maka suku kedua hilang}$$

$$\text{menjadi } Sn = \frac{-(1 + z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{-n})}{1-z} \quad \dots(2)$$

Bentuk ini masih merupakan deret geometri yang dijabarkan menjadi

$$a + ar + ar^2 + ar^3 + \dots + ar^{n-1} + ar^n$$

dimana  $a$  adalah suku pertama dan  $r$  adalah rasio

Jumlah sampai suku ke  $n$  ( $Sn$ )

$$Sn = a + ar + ar^2 + ar^3 + \dots + ar^{n-1}$$

$$rSn = ar + ar^2 + ar^3 + \dots + ar^{n-1} + ar^n -$$

$$Sn - rSn = a - ar^n$$

$$(1-r)Sn = a(1-r^n)$$

$$Sn = \frac{a(1-r^n)}{1-r} \quad \text{bentuk persamaan umum ini disubstitusikan ke pembilang dari persamaan (2)}$$

$$x(z) = 1 + z^1 + z^2 + z^3 + \dots \quad \text{dimana } a = 1 \text{ dan } r = z^1 \text{ maka}$$



$$S_n = \frac{1(1 - (z^{-1})^n)}{1 - z^{-1}} = \frac{(1 - z^{-n})}{1 - z^{-1}} \text{ jika } n = \infty, \text{ maka } S_n = \frac{\left(1 - \frac{1}{z}\right)}{1 - z^{-1}} = \frac{1}{1 - z^{-1}}$$

$\therefore x(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}}$  dan bentuk penyederhanaan ini disubstitusikan ke dalam persamaan (2) sehingga

$$S_n = \frac{1}{1 - z^{-1}} = -\frac{1}{(1 - z^{-1})(1 - z)} = -\frac{1}{(1 - z)(1 - z^{-1})} = -\frac{1}{-z\left(-\frac{1}{z} + 1\right)(1 - z^{-1})}$$

$$S_n = \frac{1}{z(-z^{-1} + 1)(1 - z^{-1})} = \frac{z^{-1}}{(1 - z^{-1})(1 - z^{-1})} = \frac{z^{-1}}{(1 - z^{-1})^2}$$

bentuk penyederhanaan ini dapat disubstitusikan ke persamaan (1) menjadi

$$x(z) = T \frac{z^{-1}}{(1 - z^{-1})^2} \times \frac{z^2}{z^2} = T \frac{z}{z^2(1 - 2z^{-1} + z^{-2})} = \frac{Tz}{z^2 - 2z + 1} = \frac{Tz}{(z - 1)^2}$$

$\therefore$  Transformasi Z untuk Fungsi Tanjak adalah  $x(z) = \frac{Tz}{(z - 1)^2}$

Beberapa fungsi lainnya :

### Fungsi Polinomial

$x(k) = a^k$  jika  $k = 0, 1, 2$ ; dan  $x(k) = 0$  jika  $k < 0$ , maka

$$x(z) = Z(a^k) = \sum_{k=0}^{\infty} x(k)z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} a^k z^{-k}$$

$$x(z) = 1 + az^{-1} + a^2 z^{-2} + a^3 z^{-3} + \dots$$

$$x(z) = \frac{1}{1 - az^{-1}} = \frac{z}{z - a}$$

### Fungsi Eksponensial

$x(t) = e^{at}$  jika  $t \geq 0$ ; dan  $x(t) = 0$  jika  $t < 0$ , maka

$$x(z) = \sum_{k=0}^{\infty} e^{-akT} z^{-k} = 1 + e^{-aT} z^{-1} + e^{-2aT} z^{-2} + \dots = \frac{1}{1 - e^{-aT} z^{-1}}$$

$$x(z) = \frac{z}{z - e^{-aT}}$$



### Fungsi Sinus

$x(t) = \sin wt$  jika  $t \geq 0$ ; dan  $x(t) = 0$  jika  $t < 0$  dimana  $\sin wt = \frac{1}{2j}(e^{j\omega t} - e^{-j\omega t})$

$$x(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \sin wkt \cdot z^{-k} = \frac{1}{2j} \left( \frac{1}{1 - e^{j\omega T} \cdot z^{-1}} - \frac{1}{1 - e^{-j\omega T} \cdot z^{-1}} \right) = \frac{z \sin \omega T}{z^2 - 2z \cos \omega T + 1}$$

**Soal Latihan :**

**Turunkan secara matematis detail dari fungsi sinus ke dalam Transformasi Z !**

Selain mendapatkan Transformasi Z dari suatu fungsi, kita juga harus mampu melakukan invers dari Transformasi Z tersebut.

Contoh mencari invers Transformasi Z dari  $x(z) = \frac{z}{z-a}$

$$\begin{array}{r} \frac{1+a/z+a^2/z^2+\dots}{z-a} \Bigg| \begin{array}{r} z \\ z-a \end{array} \\ \underline{z-a} \quad - \\ a \\ \underline{a-a^2/z} \quad - \\ a^2/z \\ \underline{a^2/z^2-a^3/z^2} \quad - \\ a^3/z^2 \\ \dots \end{array}$$

$$x(z) = 1 + a/z + a^2/z^2 + a^3/z^3 + \dots$$

$$x(z) = 1 + a.z^{-1} + a^2.z^{-2} + a^3.z^{-3} + \dots$$

$$x(z) = \sum_{k=0}^{\infty} a^k z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} x(k) z^{-k}$$

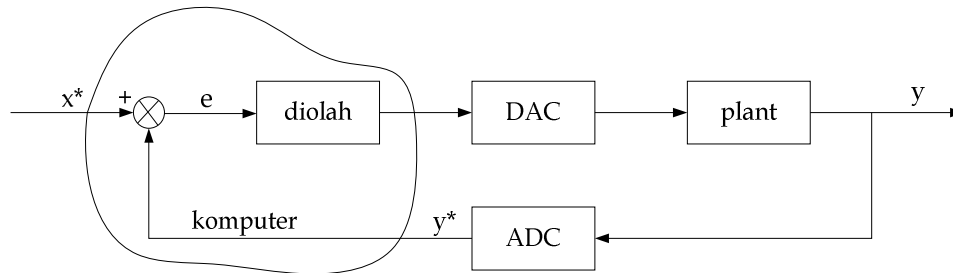
$$\therefore x(k) = a^k \text{ dimana } k = 0, 1, 2, \dots$$



## SISTEM KONTROL WAKTU DISKRIT

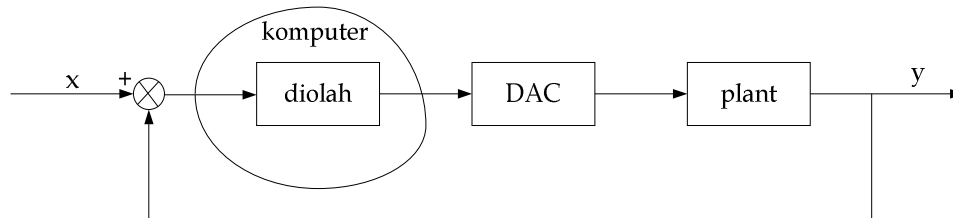
Model sistem kontrol waktu diskrit adalah sama dengan sistem waktu analog dan juga dibagi menjadi sistem tanpa umpan balik dan sistem dengan umpan balik. Yang ditekankan dalam sistem kontrol waktu diskrit adalah cara meng-umpan balik-kan keluaran ke sistem atau cara melakukan perbandingan. Membandingkan dalam sistem kontrol waktu diskrit dibagi menjadi dua yaitu

### 1. Membandingkan secara digital



Input referensi ( $x^*$ ) sudah dalam bentuk digital dan input ini diolah setelah dilakukan perbandingan dari feedback. Baik input maupun feedback sudah merupakan sinyal digital dan diolah menggunakan komputer.

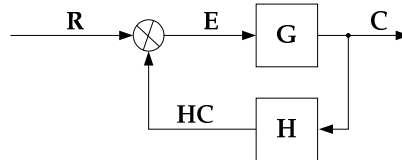
### 2. Membandingkan secara analog



Di sini baik input dan output merupakan data analog yang hasil perbandingannya harus diolah terlebih dahulu menjadi data digital dan setelah diolah akan dikonversikan kembali menjadi data analog agar bisa dikerjakan oleh sistem. Pembandingan yang seperti ini disebut membandingkan secara analog.



### Contoh aplikasi sistem kontrol waktu diskrit



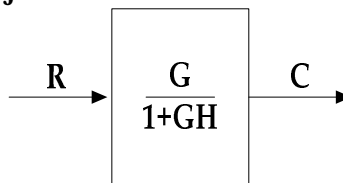
Carilah fungsi alih dari sistem kontrol waktu diskrit di atas

$$E = R - HC; \quad C = EG; \quad \text{maka} \quad G = \frac{C}{E} = \frac{C}{R - HC}$$

$$GR - GHC = C \Rightarrow GR = C + GHC = C(1 + GH)$$

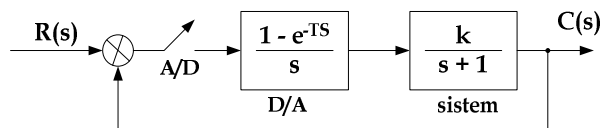
$$\text{Fungsi alih} \Rightarrow \frac{C}{R} = \frac{G}{1 + GH}$$

sehingga bentuk sistem menjadi



### Soal latihan :

Carilah fungsi alih dari sistem waktu diskrit berikut ini !



Transformasi Laplace $F(s)$	Fungsi Waktu $f(t), t > 0$	Transformasi z $F(z)$
1	$\delta(t)$	1
$e^{kTs}$	$\delta(t - kT)$	$z^{-k}$
$\frac{1}{s}$	$u_s(t)$	$\frac{z}{(z-1)}$
$\frac{1}{s^2}$	$t$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$
$\frac{2}{s^3}$	$t^2$	$\frac{T^2 z(z+1)}{(z-1)^3}$
$\frac{1}{s+a}$	$e^{-at}$	$\frac{z}{z - e^{-aT}}$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	$te^{-at}$	$\frac{Tze^{-aT}}{(z - e^{-aT})^2}$
$\frac{a}{s(s+a)}$	$1 - e^{-at}$	$\frac{z(1 - e^{-aT})}{(z-1)(z - e^{-aT})}$



## KEHANDALAN SISTEM (RELIABILITY)

Yang dimaksud dengan kehandalan (reliability) adalah probabilitas/kemungkinan suatu sistem atau produk akan berunjuk kerja memuaskan untuk suatu periode waktu tertentu, bila dioperasikan sesuai kondisi yang disarankan.

Sejarah mengapa kehandalan sistem perlu diukur terjadi sejak awal 1940 dimana terdapat kendala dalam merancang sistem elektronik. Sistem elektronik yang dirancang, semakin lama semakin rumit/kompleks sehingga kehandalan dari sistem elektronika tersebut harus diukur.

Pada tahun 1952, Departemen Pertahanan Amerika Serikat mendirikan AGREE (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment) yang bertugas untuk mengecek kehandalan dari semua sistem elektronika yang dibuat oleh perusahaan, terutama untuk perusahaan yang menghasilkan peralatan elektronik bagi keperluan militer

Kehandalan sudah ditentukan sejak pada fase desain.

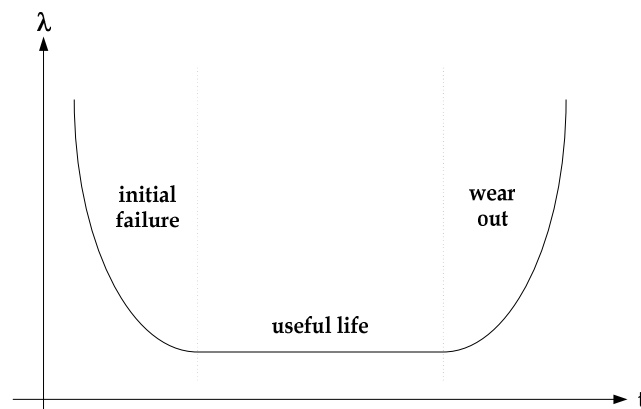
Mengukur kehandalan → test produk atau komponen pada kondisi sebenarnya sampai terjadi kegagalan

perlu biaya dan waktu



Tidak ada test bukan berarti produk tidak handal melainkan kehandalan tidak diketahui.

Grafik hubungan laju kegagalan terhadap waktu





**Initial failure** : kesalahan dalam rancangan atau pembuatan

**Useful life** :  $\lambda$  (laju kegagalan) sudah konstan, kegagalan terjadi secara random

**Wear out** :  $\lambda$  naik disebabkan karena umur, pemakaian dan kegagalan

Grafik ini menjelaskan bahwa pada tahap awal pembuatan atau perancangan seringkali juga terdapat banyak kegagalan. Biasanya kegagalan seperti ini dapat dideteksi pada saat model sudah selesai dibuat. Kegagalan ini akan membuat si perancang untuk memodelkan ulang.

### Contoh kasus

#### **Mitsubishi Tarik Lebih dari 80 Ribu Mobil Produksinya**

**Tokyo, Sabtu 10 April 2004**

Mitsubishi Motor Corp, produsen kendaraan bermotor terbesar keempat di Jepang, menyatakan menarik 81.531 mobil roda empat menyusul adanya gangguan pada sistem roda.

Pihaknya mengemukakan, kendaraan yang ditarik merupakan jenis berpenumpang sedikit, yaitu Toppo BJ, Minica, eK-Sport, eK-Wagon dan eK-Classy, yang dibuat antara September 2001 hingga Februari 2004.

Perusahaan itu mengemukakan, roda kendaraan mengalami masalah sebagai akibat adanya kesalahan disain sehingga menyebabkan keamanan menjadi terganggu.

Disebutkan, sesungguhnya terdapat tiga kasus masalah di Jepang selain roda, namun sampai kini belum ditemukan adanya masalah.

Mitsubishi Motor telah siap untuk menarik seluruh jenis mobil dan truk yang dibuat oleh perusahaannya.

Bulan lalu, Truk Fuso Mitsubishi dan Bis menyatakan akan menarik 112 ribu kendaraannya yang juga adanya masalah roda yang dapat menyebabkan kecelakaan fatal.

Selama 2000, Mitsubishi Motor menerima sedikitnya 64 ribu keluhan dari pelanggan. Mitsubishi Motor merencanakan pada 30 April akan melakukan restrukturisasi dengan pemegang saham DaimlerChrysler, yang menguasai 36,97 persen pembuat mobil Jepang.

**(AFX-Asia/Ant/\*)**

Pada kasus ini dinyatakan bahwa seluruh jajaran personil ditumpuk pimpinan Mitsubishi dijatuhi hukuman karena merahasiakan kegagalan perancangan mobil-mobilnya. Kegagalan ini disinyalir sudah terdeteksi sejak awal perancangan namun diabaikan karena dinyatakan tidak significant. Namun dalam perjalanannya, mobil yang gagal dalam tahap perancangan ini telah memakan korban jiwa walaupun hanya sedikit. Kasus ini menyebabkan Mitsubishi menderita kerugian sebesar 325 juta Yen (3,1 juta dolar AS).

Dalam perjalanannya yaitu setelah suatu barang sudah diproduksi, laju kegagalannya biasanya sudah konstan dan kegagalan yang terjadi bersifat acak. Misal, mobil yang telah dipakai akan mengalami beberapa kegagalan akibat



pemakaiannya seperti ban kempes, mesin terlalu panas, aki-nya soak dan sebagainya. Kegagalan ini tidaklah selalu terjadi pada bagian yang sama dari mobil, dan kapan waktu keagalannya terjadi akan seiring dengan usia pemakaiannya.

Kondisi dimana kegagalan meninggi akibat faktor usia dan pemakaian dinyatakan sebagai wear out. Misal seperti contoh mobil tadi, kanvas rem yang harus diganti akibat pemakaian yang tidak sesuai atau memang mobil telah dipakai selama 2 tahun. Semakin tua usia peralatan kita, maka semakin mudah peralatan tersebut mengalami kegagalan.

Ada beberapa peralatan yang mencantumkan “life time warranty”. Apakah ini berarti bahwa peralatan tersebut akan digaransi tidak rusak seumur hidup kita? Ataukah ini berarti peralatan tersebut dijamin tidak rusak seumur hidup peralatan tersebut dengan catatan, kondisi pemakaiannya sesuai yang disarankan?

Misal, kita membeli sebuah komponen memory di Harco yang mencantumkan “life time warranty” maka perlulah kita melihat berapa umur memory tersebut. Bisa jadi memory hanya dijaminan sejauh perusahaan tersebut memproduksi jenis memory yang sama apabila memory tersebut sudah tidak diproduksi kembali, maka jaminan tersebut tidak berlaku kembali. Kalau seumpamanya memory tersebut rusak setelah dipakai selama beberapa bulan perusahaan yang mengeluarkan produk tersebut akan menanyakan bagaimana memory tersebut bisa rusak, apakah kita telah menggunakannya sesuai dengan yang dianjurkan. Apabila kerusakan akibat pemakaian yang wajar, maka akan diganti dengan yang baru. Tetapi apabila kerusakan karena bukan pemakaian yang wajar (misal memory kita simpan di dalam saku celana renang dan kita bawa berenang), maka “life time warranty” tidaklah berlaku.

#### PENGUKURAN KEHANDALAN

Beberapa fungsi kehandalan sebagai berikut ini

$R(t)$  : probabilitas sistem/produk akan sukses untuk waktu tertentu ( $t$ )

$F(t)$  : probabilitas sistem akan gagal dalam waktu  $t$

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Jika variabel acak  $t$  memiliki laju kegagalan  $f(t)$  atau failure density function,

maka  $R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$





Jika waktu kegagalan dinyatakan dalam fungsi laju eksponensial maka

$$f(t) = \frac{1}{q} e^{-t/q} \text{ dimana}$$

$\theta$  = mean life / rata-rata hidup

$\lambda$  = failure rate / laju kegagalan

$t$  = waktu / periode

$e$  = 2,7183 (bilangan natural)

MTBF = Mean time between failure (waktu rata-rata diantara kegagalan)

$$q = MTBF = \frac{1}{n \cdot I}$$

Laju dari kegagalan yang terjadi pada interval waktu tertentu

$$\text{Laju Kegagalan } (I) = \frac{\text{jumlah kegagalan}}{\text{total jam operasi}}$$

$$I(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Semakin kecil  $\lambda$ , maka semakin baik dan semakin besar MTBF juga semakin baik.

**Contoh:**

Suatu alat dengan useful life 400 jam dan laju kegagalan sebesar 3 per 1000 jam. Kehandalan untuk setiap 24 jam operasi selama useful life adalah

$$R = e^{-I \cdot t} = e^{-0,003 \times 24} = 0,93$$

$\therefore$  alat ini mempunyai kemungkinan 93% bekerja dengan baik tanpa kegagalan selama 24 jam operasi.

Kehandalan untuk seluruh perioda dari useful life sebesar 400 jam adalah

$$R = e^{-0,003 \times 400} = 0,3$$

$\therefore$  kemungkinan beroperasi tanpa gagal selama 400 jam adalah 30%.

**Contoh:**

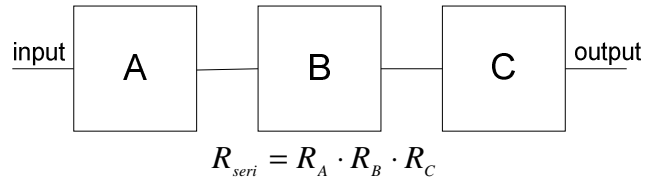
Pada suatu alat ditemukan kegagalan 33 buah resistor per tahun. Jika total resistor pada alat itu 1000 buah, maka tingkat kegagalannya

$$I = \frac{33}{1000} \times 100\% = 3,3\% \text{ per tahun}$$

Pada contoh di atas terlihat bahwa  $\lambda$  sebesar 3,3% per tahun untuk 1000 buah resistor, artinya 33 buah resistor gagal per tahun. Rata-rata di antara 2 kegagalan resistor 1/33 tahun atau 11 hari. Jadi alat diharapkan bekerja baik sekitar 11 hari sebelum sebuah resistor gagal.

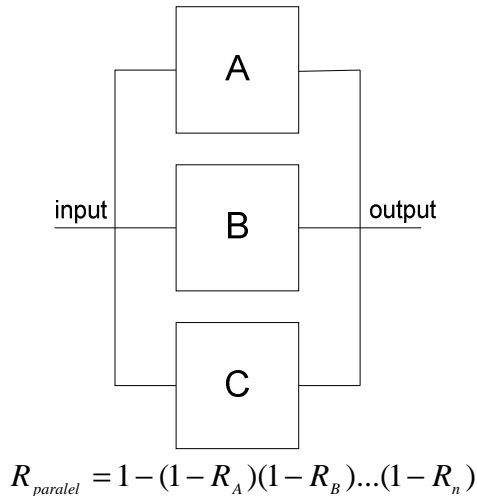
**Soal Latihan:**

Bila suatu alat memiliki kehandalan sebesar 95% untuk laju kegagalan sebesar 10 per 100 jam, berapakah useful life dari alat tersebut?

**HUBUNGAN KOMPONEN TERHADAP MODEL KEHANDALAN****Rangkaian Seri**

untuk komponen yang identik, persamaan di atas menjadi  $R_{seri} = R_n$ ; dimana  $n$  adalah banyaknya komponen.

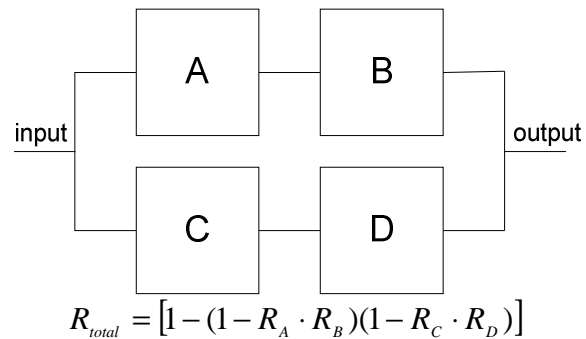
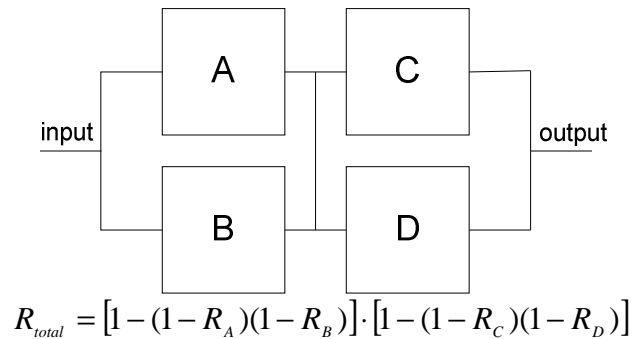
Gambar tersebut memperlihatkan efek penambahan unit komponen identik pada kehandalan sistem. **Dengan demikian, kehandalan sistem akan berkurang apabila unit komponen bertambah.**

**Rangkaian Paralel**

untuk komponen yang identik, persamaan di atas menjadi  $R_p = 1 - (1 - R)^n$



## Rangkaian Kombinasi Seri Paralel

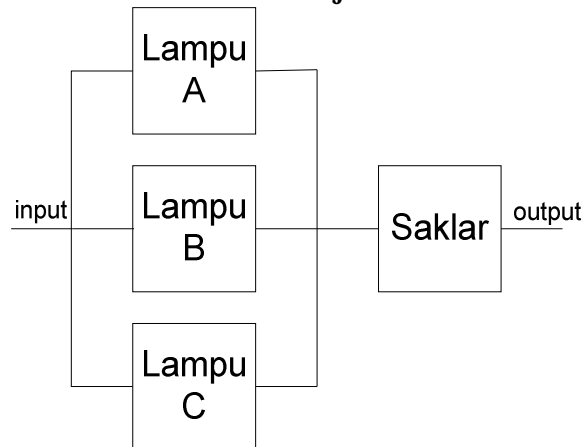


### Contoh Soal:

Suatu ruangan memiliki 3 buah lampu dimana dikendalikan oleh 1 buah saklar. Kondisi gagal untuk lampu dan saklar adalah berdiri sendiri. (Catatan: saklar dapat gagal pada saat tidak dapat di-close tetapi tidak pernah gagal pada saat open).

Kehandalan untuk lampu dan saklar masing-masing 0,7 dan 0,9. Hitunglah reliabilitas/kehandalan untuk kondisi ruangan tersebut!

Bila digambarkan cerita tersebut maka menjadi





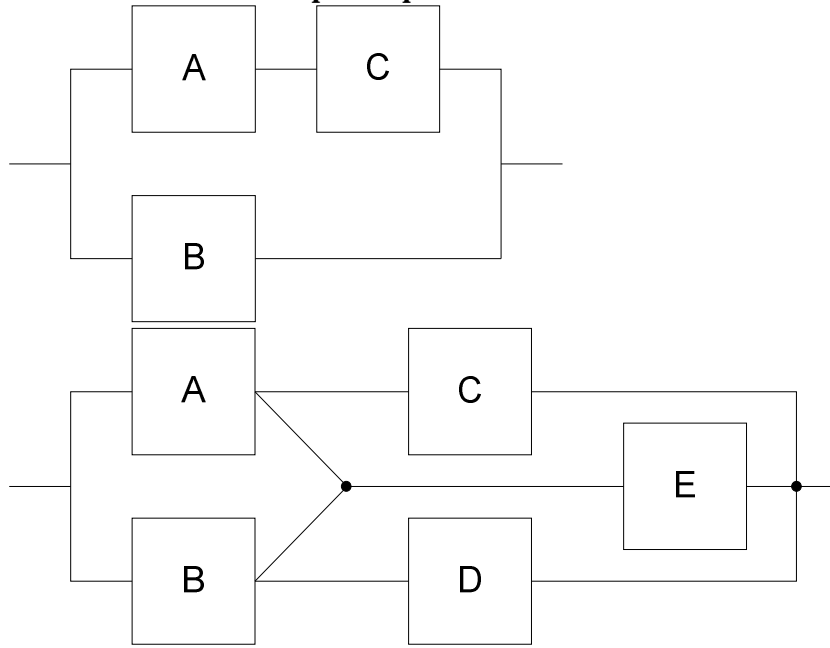
$$R_{lampu} = 1 - (1 - R)^3 = 1 - (1 - 0,7)^3 = 0,973$$

$$R_{gabungan} = R_{lampu} \cdot R_{saklar} = 0,973 \cdot 0,9 = 0,8757$$

$\therefore$  reliabilitas untuk ruangan tersebut adalah 87,57%

### Latihan Soal:

Carilah kehandalan total untuk masing-masing sistem berikut ini bila kehandalan dari setiap komponen adalah 0,857!





## SISTEM LINIER DAN TIDAK LINIER

Model linier kerap kali digunakan untuk menganalisa sistem fisika dikarenakan analisa model linier jauh lebih sederhana. Analisa sistem linier itu sendiri dibagi menjadi 3 tahap:

1. Model matematis yang ada dikembangkan sesuai dengan persoalan fisika
2. Dari model matematis, diselesaikanlah persamaan resultannya
3. Dari pemecahan model matematis tersebut kemudian ditafsirkan ke dalam persoalan fisika

Beberapa syarat dari kelinieran adalah sebagai berikut

§ Jika  $u_1 \rightarrow y_1$  dan  $u_2 \rightarrow y_2$  maka  $u_1 + u_2 \rightarrow y_1 + y_2$

§ Jika  $u \rightarrow y$  maka  $\alpha u \rightarrow \alpha y$  dimana  $\alpha$  adalah bilangan rasional  
 $u$  adalah input dan  $y$  adalah output

Notasi panah yang menyatakan proses atau perubahan dapat diganti menjadi bentuk fungsi yang artinya: keluaran merupakan masukan yang telah diubah bentuk/fungsinya, sehingga

$$u \rightarrow y \approx y = T(u)$$

Sistem dinyatakan linier jika  $T$  memenuhi

$$T(au_1 + bu_2) = aT(u_1) + bT(u_2)$$

**Contoh:**

Sebuah sistem yang hubungan antara masukan dan keluarannya dinyatakan dengan persamaan  $y=au+b$  dengan  $a$  dan  $b$  adalah konstanta. Nyatakanlah apakah sistem ini linier?

$$y = au + b$$

$$T(u) = au + b$$

ditinjau dengan menggunakan 2 buah masukan yaitu  $u_1$  dan  $u_2$ , maka

$$T(u_1) = au_1 + b \quad \dots(1)$$

$$T(u_2) = au_2 + b \quad \dots(2)$$

jika masukkannya  $u_1+u_2$ , maka

$$T(u_1 + u_2) = a(u_1 + u_2) + b \quad \dots(3)$$

dari persamaan (1) dan (2)

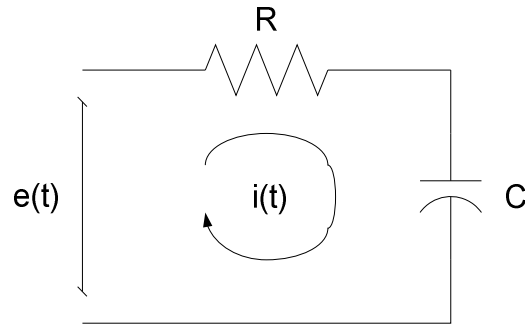
$$T(u_1) + T(u_2) = au_1 + b + au_2 + b = a(u_1 + u_2) + 2b \quad \dots(4)$$

dari persamaan (3) dan (4) diketahui bahwa  $T(u_1+u_2) \neq T(u_1)+T(u_2)$  sehingga sistem tidak linier.



**Contoh lain:**

**Perhatikanlah rangkaian berikut ini!**



**Jika muatan awal di kapasitor sama dengan nol, apakah sistem ini linier?**

**Persamaan yang mewakili rangkaian di atas ditinjau dengan menggunakan bentuk PD-nya sebagai berikut**

$$e(t) = Ri(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$$

**Catatan: Menggunakan PD karena sistem ini dinamis, artinya berubah terhadap waktu. Oleh karena itu dilihat bagian mana dari rangkaian ini yang senantiasa berubah terhadap waktu? ARUS.**

**Marilah kita tinjau menggunakan  $i_1(t)$  dan  $i_2(t)$ , maka**

$$e_1(t) = R_1(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i_1(t) dt$$

$$e_2(t) = R_2(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i_2(t) dt$$

**jika inputnya  $\alpha i_1(t) + \beta i_2(t)$ , maka**

$$e(t) = R[ai_1(t) + bi_2(t)] + \frac{1}{C} \int_0^t [ai_1(t) + bi_2(t)] dt$$

$$e(t) = a \left[ Ri_1(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i_1(t) dt \right] + b \left[ Ri_2(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i_2(t) dt \right]$$

$$e(t) = ae_1(t) + be_2(t)$$

**$\therefore$  sistem ini linier**

**Soal Latihan:**

**Buktikanlah apakah sistem berikut ini linier!**

$$y(k) = \frac{1}{2}u(k) + u(k-1)$$



## MELINIERKAN SISTEM TAK LINIER

Bila kita memiliki sistem yang tidak linier dengan input  $x(t)$  dan output  $y(t)$ , maka hubungan antara output dan input tersebut dapat dinyatakan sebagai

$$y = f(x) \quad \dots(1)$$

jika normal kondisi operasinya dinyatakan dengan  $\bar{x}, \bar{y}$  maka persamaan (1) di atas dapat dikembangkan dengan menggunakan deret Taylor menjadi

$$y = f(x) + \frac{df}{dx}(x - \bar{x}) + \frac{1}{2!} \frac{d^2 f}{dx^2}(x - \bar{x})^2 + \frac{1}{3!} \frac{d^3 f}{dx^3}(x - \bar{x})^3 + \dots \quad \dots(2)$$

dimana  $\frac{df}{dx}, \frac{d^2 f}{dx^2}$  dievaluasi pada  $x \approx \bar{x}$

karena  $(x - \bar{x})$  adalah kecil, maka  $(x - \bar{x})^2$  akan lebih kecil lagi, sehingga dapat diabaikan, demikian pula untuk pangkat yang lebih tinggi. Dengan demikian, persamaan (2) menjadi

$$y = \bar{y} + k(x - \bar{x}) \quad \dots(3)$$

dimana  $\bar{y} = f(\bar{x})$  dan  $k = \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=\bar{x}}$ , maka persamaan (3) dapat ditulis sebagai

$$y - \bar{y} = k(x - \bar{x})$$

persamaan inilah yang disebut sebagai **model linier dari sistem non linier** di sekitar titik operasi  $x = \bar{x}$  dan  $y = \bar{y}$

**Contoh:**

Linierkanlah persamaan non linier berikut ini

$$z = xy$$

dimana  $x$  bekerja pada  $5 \leq x \leq 7$  dan  $10 \leq y \leq 12$ . Hitunglah error yang terjadi jika persamaan yang sudah linier digunakan untuk menghitung nilai  $z$  untuk  $x = 5$  dan  $y = 10$ !

Pilih  $\bar{x} = 6$  dan  $\bar{y} = 11$  dalam daerah  $x$  dan  $y$  untuk 2 variabel. Persamaan liniernya dinyatakan dengan



$$z - \bar{z} = k_1(x - \bar{x}) + k_2(y - \bar{y})$$

$$k_1 = \left. \frac{\partial(xy)}{\partial x} \right|_{x=\bar{x}, y=\bar{y}} = y = \bar{y} = 11$$

$$k_2 = \left. \frac{\partial(xy)}{\partial y} \right|_{x=\bar{x}, y=\bar{y}} = x = \bar{x} = 6$$

sehingga persamaan linier ini menjadi  $z - 66 = 11(x - 6) + 6(y - 11)$  atau  $z = 11x + 6y - 66$

Marilah kita uji coba! Jika  $x = 5$ ,  $y = 10$  maka  $z = 11 \cdot 5 + 6 \cdot 10 - 66 = 49$

untuk nilai exact  $z = xy = 5 \cdot 10 = 50$

maka error =  $50 - 49 = 1 \Rightarrow 1/50 \times 100\% = 2\%$

Untuk error sebesar 2% ini masih dimungkinkan bagi sistem non linier ini diselesaikan dengan menggunakan model linier.

Catatan: Biasanya bentuk persamaan yang berupa perkalian merupakan bentuk persamaan non linier dan persamaan yang berupa penjumlahan merupakan bentuk persamaan linier. Namun demikian, hal ini tidak selalu merupakan kepastian dalam menentukan apakah persamaan tersebut termasuk linier atau non linier.

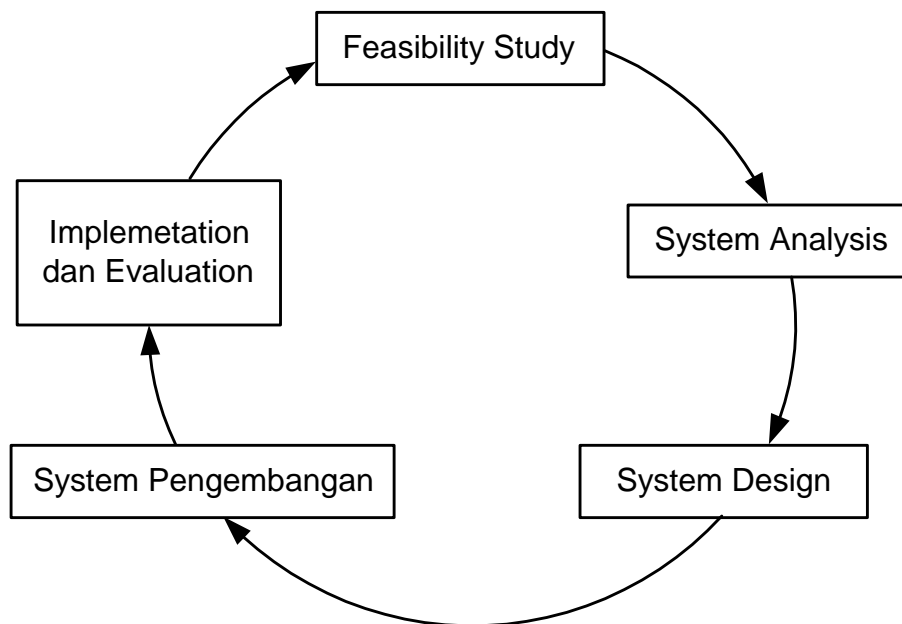




## ANALISA SISTEM DAN DISAIN

**System Life Style** adalah proses terorganisasi dari pengembangan dan pemeliharaan suatu sistem. Siklus ini membantu dalam menetapkan rencana proyek pengembangan sistem, karena siklus ini akan memberikan keseluruhan daftar proses dan sub proses yang diperlukan bagi pengembangan sistem. System development life cycle mempunyai arti kombinasi dari bermacam-macam aktivitas dan dalam terminology System Analysis and Design mempunyai arti software development life cycle.

Tahap Siklus Pengembangan Perangkat Lunak.



### Feasibility Stydy (Preliminary Investigation)

Studi kelayakan adalah tahap pertama dari siklus pengembangan sistem dan akan memberikan gambaran yang jelas mengenai seperti apa sistem yang ada saat ini. Keadaan dan lingkup persoalan yang dipelajari untuk menentukan apakah ber-manfaat untuk melanjutkan proyek pengembangan lebih jauh lagi. Pada studi ini harus diketahui bahwa persoalan benar-benar ada dan apakah sumber-sumber dari persoalan?, apakah user menghadapi kesulitan dan meminta bantuan?, apakah manager sudah mengidentifikasi adanya kinerja yang buruk. Diskusi dapat dilaksanakan diantara user, manager dan sistem analis untuk mencapai kesimpulan bahwa persoalan benar-benar ada. Apabila problem telah diidentifikasi, sistem analis harus memperkirakan besarnya



pekerjaan yang harus dilakukan untuk memecahkan persoalan. Lingkup dari proyek ini adalah fungsi dari tipe persoalan, berapa lama waktu dan besarnya biaya yang digunakan serta berapa besar perubahan yang diinginkan oleh user dan manager. Setelah keadaan dan lingkup persoalan sudah ditentukan, sejumlah penyelesaian dapat diusulkan. Pada saat ini belum dikerjakan penyelesaian secara menyeluruh dari persoalan, tetapi ide-ide awal akan diusulkan. Misalnya perubahan sebagian atau menyeluruh dari sistem. Puncak dari studi kelayakan ini adalah penyerahan laporan ke pihak manajemen berisi temuan-temuan dan rekomendasi dari sistem analisis. Laporan ini berisi pernyataan mengenai persoalan, tujuan dan lingkup proyek, dan ide-ide awal untuk penyelesaian persoalan beserta perkiraan biaya dan manfaatnya. Jika pihak manajemen meyetujui laporan ini, studi kelayakan dapat dijadikan model dari pandangan seorang sistem analisis mengenai proyek yang akan dilakukan berikutnya?

### System Analysis

Pada tahap ini akan ditentukan secara tepat tentang apa yang harus dilakukan untuk menyelesaikan persoalan, sistem yang ada saat ini dipelajari secara detail untuk mencari tahu apa dan bagaimana sistem ini. Proses analisa sistem biasanya dibagi menjadi 2 klasifikasi utama yaitu pengumpulan data dan analisa data.

#### a. Pengumpulan Data.

Agar sistem yang ada dapat dimengerti, fakta tentang sistem ini harus dikumpulkan. Sistem analisis harus menentukan input, operasi dan output dari sistem dengan benar. Apa yang sedang dikerjakan, siapa yang mengerjakan, bagaimana dikerjakan dan mengapa dikerjakan semua harus ditentukan dengan benar. Meskipun keadaan data yang harus dikumpulkan dan bagaimana data diperoleh berbeda dari sistem ke sistem, sistem analisis biasanya menggunakan 4 sumber yaitu dokumen tertulis, kuesioner, interview, dan observasi.

- Dokumen tertulis

Dokumen tertulis seperti formulir, manual, chart, diagram, surat dan lain-lain yang digunakan oleh suatu organisasi dapat memberikan penjelasan mengenai bagaimana sistem bekerja. Dokumen tertulis dapat memberikan informasi mengenai kebijakan, prosedur dan hubungan diantara manusia yang ada di dalam suatu organisasi. Organisasi yg besar mungkin menghasilkan dan memproses sejumlah besar dokumen tertulis setiap hari. Sistem analisis banyak memberikan informasi tentang kerja sistem dan dokumen mana yang mungkin menimbulkan persoalan dari sistem.



- **Kuesioner**  
Sistem analis dapat menyiapkan kuesioner untuk dibagikan ke anggota suatu organisasi sebagai alat bantu yang tepat dan tidak mahal dalam mengumpulkan informasi. Pengetahuan tentang ilmu statistik diperlukan untuk dapat menginterpretasikan hasil dari kuesioner dgn tepat.
- **Interview**  
Interview dapat memberikan sifat fleksibel mengenai pertanyaan yg diajukan dibanding-kan hanya melalui kalimat pada kuesioner. Interview mempunyai kelemahan dimana seseorang mungkin tidak merasa enak untuk diwawancarai dan kadang kebenaran tidak berani mengungkapkan serta bukan fakta yang diperoleh tetapi pendapat.
- **Observasi**  
Secara sederhana observasi adalah proses mengamati operasi hari per hari dari suatu organisasi. Dengan mencatat bagaimana data mengalir melalui sistem, bagaimana manusia dan mesin berinteraksi dan mendengarkan apa yang orang katakan, seorang sistem analis dapat mengevaluasi akurasi dari informasi yang dikumpulkan melalui kuesioner dan interview.

**b. Analisis Data**

Setelah data mengenai kerja dari sistem yang ada saat ini diperoleh, analisis data dilaksanakan dengan tujuan untuk mendapatkan pengertian yang lengkap tentang fungsi sistem yang akan diusulkan. Sistem analisis akan menghasilkan data flow diagram, data dictionaries dan black box process descriptions yang akan diserahkan ke pihak manajemen.

- **Data flow diagram**  
Dalam menganalisa data, sistem analis menaruh perhatian pada meringkas sistem yang diusulkan dengan menekankan pada fungsi daripada pelaksanaan secara fisik. Dengan kata lain sistem analis akan mempertimbangkan apa yang perlu dilaksanakan daripada bagaimana melaksanakannya. Data flow diagram merupakan alat yang cocok untuk keperluan ini. Diagram akan menunjukan sumber-sumber, penyimpanan dan tujuan dari data, arah aliran data serta proses-proses yang mentransformasi data.
- **Data dictionaries**  
Data dictionaries adalah sekumpulan informasi tentang elemen-elemen data dari suatu sistem. Biasanya terdiri dari nama, deskripsi, sumber, format dan kegunaan dari setiap kategori data. Data dictionary akan membantu sistem analisis dalam



mengorganisasi data dan juga sangat berguna sesudah tahapan analisa selesai dilakukan.

- **Black box process description**  
adalah cara untuk mendokumentasikan proses-proses yang sistem lakukan. Konsep black box sering digunakan dimana black box merupakan hardware atau software yang melaksanakan fungsi tertentu. Bagaimana ia melaksanakan fungsi ini tidak diketahui dan yang diketahui hanyalah dengan pemberian input tertentu, black box akan memberikan output. Contoh sederhana dari black box process seperti fungsi akar pada calculator. Kita tidak tahu bagaimana kerjanya, yang perlu diketahui adalah jika kita memasukan bilangan dan menekan tombol akar maka akan diperoleh akar dari bilangan yang dimasukkan. Dengan memandang dan melukiskan proses-proses sistem sebagai black box seorang analisis dapat menunjukkan apa yang harus dilakukan dan bukan pada bagaimana hal itu dilakukan.

### System Design

Jika analisa sistem telah selesai dilaksanakan, maka apa yang harus dilakukan untuk memecahkan persoalan biasanya telah diketahui. Tahap berikutnya adalah memutuskan dengan tepat bagaimana untuk mengimplementasikan penyelesaian. Alternatif-alternatif harus dipertimbangkan dan satu set spesifikasi detail dari sistem yang terbaru harus dikembangkan. Desain yang dipilih harus mencerminkan tujuan dan lingkup dari proyek yang telah ditetapkan sebelumnya. Sistem desain terdiri dari peninjauan kembali tujuan proyek, mengembangkan persyaratan sistem dan memberikan presentasi ke pihak manajemen.

- a. **Peninjauan kembali tujuan proyek**  
Pada tahap desain, sistem analis bertanggung jawab menjamin bahwa produk akhir nantinya sesuai dengan apa yang dibutuhkan oleh user dan manager. Untuk itu seorang analis harus meninjau kembali tujuan dan lingkup proyek dengan mempertimbangkan beberapa factor penting berikut ini.
  - **Rencana jangka panjang organisasi**  
Organisasi biasanya mempunyai rencana untuk jangka panjang dan desain sistem harus memperlihatkan dan kompatibel dengan rencana ini.
  - **User interface**  
Kemudian dalam penggunaan harus benar-benar dipertimbangkan dalam desain sistem.
  - **Economic trade of**  
Masalah biaya dan waktu harus dipertimbangkan, prioritas harus ditetapkan sesuai dengan biaya yang tersedia.



- **Ketersediaan software**  
Evaluasi harus dilaksanakan dengan berhati-hati apakah akan mengadakan software dengan cara membeli atau mengembangkan diri.
  - **Metode desain**  
Apakah metode desain yang ada dapat dipakai, perlu dipertimbangkan.
- b. **Pengembangan persyaratan sistem (system requirement)**  
Pada tahap ini sistem yg baru harus dimodelkan sebelum pengembangan yang sebenarnya dilakukan. Analis dapat menggunakan alat bantu desain seperti data flow diagram atau flowchart. Tujuan dari sistem desain adalah mendokumentasi dengan benar bagaimana sistem yang baru harus bekerja. Ini berarti mempersiapkan spesifikasi detail untuk sistem yang baru. Desain harus memperhatikan aspek-aspek dari sistem yang diusulkan sebagai berikut ini.
- **Persyaratan output**  
Analis harus merinci dengan tepat apa yang akan dihasilkan yaitu output. Pada level logika analis harus memutuskan informasi apa yang diperlukan oleh user, seberapa detail informasi dan berapa sering dipresentasikan. Pada level fisik output akan dihasilkan dengan media apa dan format seperti apa harus diperinci.
  - **Persyaratan input**  
Analis harus menentukan input apa yang diperlukan oleh sistem untuk menghasilkan output yang telah ditetapkan. Bagaimana format dari input dan berapa sering dimasukkan kedalam sistem harus ditentukan.
  - **Persyaratan file dan penyimpanan**  
Analis harus menguraikan penyimpanan data yang diperlukan secara detail. Hal ini termasuk ukuran, isi, organisasi, media, peralatan, format, pembatasan akses dan lokasi dari semua file yang sistem akan gunakan.
  - **Processing**  
Analis harus menjelaskan proses yang mengubah input menjadi output. Analis dapat menggunakan data flow diagram atau program bantu desain. Pada saat ini analis juga harus mempertimbangkan apakah hardware yang baru diperlukan.
  - **Control dan Back Up**  
Hal penting pada suatu organisasi adalah masalah akurasi, keamanan dan privacy pada sumber software dan hardware. Sistem kontrol dibuat untuk menjamin bahwa data dimasukan, diproses dan dikeluarkan dengan benar dan mencegah perusakan



data, modifikasi data. Sistem back up dibuat untuk memperoleh copy dari program dan data yang sangat penting.

- **Personnel dan Procedur**

Aspek terakhir yang harus dipertimbangkan adalah masalah manusia yang akan membuat sistem bekerja. Personil (operator, programmer, spesialis) apa yang dibutuhkan. Prosedur apa yang harus diikuti oleh personil ini.

- c. **Presentasi ke pihak manajemen**

Sampai tahap ini sistem analis telah membuat sistem yang diusulkan tetapi belum mendapat persetujuan dari pihak manajemen untuk melakukan pengembangan yang sebenarnya. Pertimbangan dan rencana desain harus diringkas dalam laporan sistem desain ke manajemen sebelum proyek dapat dilanjutkan. Laporan ini biasanya berisi problem, manfaat, desain, biaya dan skedul.

### **Pengembangan Sistem**

Jika persetujuan dari pihak manajemen telah diperoleh, maka pengembangan dari desain yang diusulkan dapat dimulai. Pada tahap ini dimulai dengan spesifikasi desain dan berakhir ketika sistem sudah siap untuk diimplementasikan, empat buah aktifitas dilaksanakan yaitu scheduling, programming, testing dan dokumentasi.

- a. **Scheduling**

Langkah pertama pada tahap pengembangan biasanya dengan mempersiapkan timetable untuk menjamin bahwa sistem akan siap pada tanggal yang ditetapkan. Biasanya digunakan chart yaitu tipe dari grafik batang (bar graph) yg menunjukkan berapa lama untuk menyelesaikan suatu tugas tertentu.

- b. **Programming**

Programming merupakan bagian yang paling mudah dari pengembangan sistem jika spesifikasi sistem sudah disiapkan. Jika programming dilakukan dengan spesifikasi desain yang tidak lengkap atau tidak mencukupi akan menghasilkan produk akhir yang tidak memenuhi kebutuhan dari user dan manager.

- c. **Testing**

Sebelum sistem yang baru dioperasikan, semua komponen program harus diuji untuk menjamin bahwa ia akan bekerja dengan benar baik sebagai komponen atau sebagai unit keseluruhan. Pengujian dapat menggunakan test data dan kesalahan dapat didebug. Bug (kesalahan) mempunyai kecenderungan memerlukan biaya yang besar jika tidak ditemukan dalam waktu yang lama. Kesalahan yang ditemukan pada tahap pengujian akan memerlukan biaya yang kecil untuk



memperbaiki dibandingkan kesalahan yang ditemukan pada saat sistem sudah digunakan pada operasi sehari-hari.

d. **Dokumentasi**

Sepanjang pelaksanaan proyek sistem, dokumentasi harus selalu dibuat dalam bentuk laporan ke manajemen, analisa dan desain, spesifikasi dan chart. Manual juga harus disiapkan agar user dapat mempelajari dengan mudah sistem yang baru.

### **Implementasi dan Evaluasi**

Setelah pengembangan sistem selesai, sistem yang baru harus diimplementasikan atau diinstall pada suatu organisasi dan operasinya harus dievaluasi untuk menjamin telah memenuhi spesifikasi desain yang diinginkan. Tahap akhir ini terdiri dari beberapa aktifitas yaitu file conversion, personel training, system conversion, evaluation dan maintenance.



## **MENINJAU KINERJA PERUSAHAAN DARI SUDUT PANDANG SEORANG SARJANA SISTEM KOMPUTER**

### **1. Latar Belakang**

Setiap orang yang bekerja, baik sebagai karyawan maupun sebagai wirausahawan memerlukan pemahaman terhadap kondisi/ kinerja perusahaan dari bidang yang digelutinya. Seseorang tidaklah perlu harus memiliki latar belakang pendidikan dalam bidang ekonomi/keuangan untuk dapat mengetahui kinerja perusahaan dimana ia berada. Bagi seseorang dengan latar belakang pendidikan teknik, khususnya Teknik Elektro/Teknik Komputer, matematika dan fisika merupakan landasan dari bidang ilmu teknik tersebut. Dalam hal ini, pengetahuan dalam bidang matematika dan fisika serta beberapa mata kuliah lainnya seperti Teori Sistem dan Sistem Pengaturan dapat memberikan kontribusi dengan menerapkan analogi dalam bidang tersebut dan mengkombinasikannya dengan aplikasi dari prinsip ekonomi dan kriteria yang umumnya digunakan sebagai pedoman dalam melihat kinerja perusahaan. Dengan demikian, seorang Sarjana (mahasiswa) Sistem Komputer dapat melatih dirinya untuk melihat kinerja perusahaan dari sudut pandang bidang ilmu yang dikuasainya.

Tujuan yang ingin dicapai oleh sebuah Perusahaan berhubungan dengan Revenue (pendapatan), Costs (biaya) dan Profit (keuntungan) [Douglas, 1995]. Pada umumnya, kinerja Perusahaan dianggap baik apabila ketiga komponen ini dapat dikelola dengan baik.

Bagaimanakah Perusahaan mengarahkan penggunaan assetnya (kekayaan) serta memandang pasar dilihat dari sudut pandang seorang engineer akan disampaikan dalam makalah ini.

### **2. Berbagai Pengukuran Kinerja Perusahaan**

Didalam melihat kinerja sebuah perusahaan, perlu dilihat posisi dari perusahaan tersebut dari beberapa sudut pandang. Sudut pandang yang sederhana adalah dengan melihat kondisi keuangan Perusahaan dan kondisi pasar dimana Perusahaan tersebut berada.

#### **Sudut Pandang Keuangan**

Laporan keuangan sebuah organisasi dapat memberikan pandangan mengenai kinerja dari perusahaan tersebut. Laporan keuangan umumnya terdiri dari





Balance Sheet (Neraca) dan Income Statement (Laba-Rugi). Balance Sheet memberikan potret keadaan keuangan organisasi pada satu titik waktu, sedangkan Income Statement memberikan informasi bagaimanakah hasil dari operasi perusahaan pada suatu kurun waktu [Weston, Brigham, 1978].

Balance Sheet terdiri dari 3 elemen utama, *Asset, Liability dan Equity(networth)*. Income Statement dapat juga diartikan sebagai hubungan antara jerih payah yang dilakukan (cost) dengan hasil yang diperoleh (revenue) pada suatu kurun waktu.

Berikut adalah contoh sederhana dari Balance Sheet dan Income Statement untuk sebuah perusahaan Internet Service Provider.

Balance Sheet		31 December 2002
<b>ASSET</b>		
Current Asset		
Cash	15,000	
Bank	150,000.0	
Account Receivable	150,000	
Deposit for International Link	85,000	
		<u>400,000</u>
Fixed Asset		
Fixed Asset	600,000	
Depreciation	290,000	
		<u>310,000</u>
<b>TOTAL</b>		<u><b>710,000</b></u>
<b>LIABILITY &amp; EQUITY</b>		
Short Term Loan		22,000
Deposit From Customers		42,500
Long Term Loan		200,000
Equity		
Equity	250,000	
Net Profit	195,500	
		<u>445,500</u>
<b>TOTAL</b>		<u><b>710,000</b></u>

All figures in thousand Rupiah



<b>Income Statemet 2002</b>	
<b>REVENUE</b>	
- Personal	550,000
- Corporate	1,600,000
- Others	300,000
<b>TOTAL REVENUE</b>	<b>2,450,000</b>
<b>COSTS</b>	
<b>Direct Costs</b>	
- Link International Bandwidth	800,000
- Domestic Link	80,000
- Telephone Lines	50,000
<b>Total Direct Cost</b>	<b>930,000</b>
<b>GROSS PROFIT</b>	<b>1,520,000</b>
<b>Indirect Costs</b>	
Office Operation	
- Telephone Lines	60,000
- Water & Electricity	15,000
- Office Space	130,000
- Transportation	40,000
- Maintenance	10,000
- Consumables	8,000
<b>Total Office Operation</b>	<b>263,000</b>
Marketing & Sales	70,000
Remuneration & Training	650,000
<b>Total Indirect Costs</b>	<b>1,246,000</b>
<b>EBITDA</b>	<b>274,000</b>
<b>Depreciation/ Amortization</b>	<b>140,000</b>
<b>EBIT</b>	<b>134,000</b>
<b>Tax</b>	<b>16,000</b>
<b>Net Profit</b>	<b>118,000</b>

All figures in thousand Rupiah

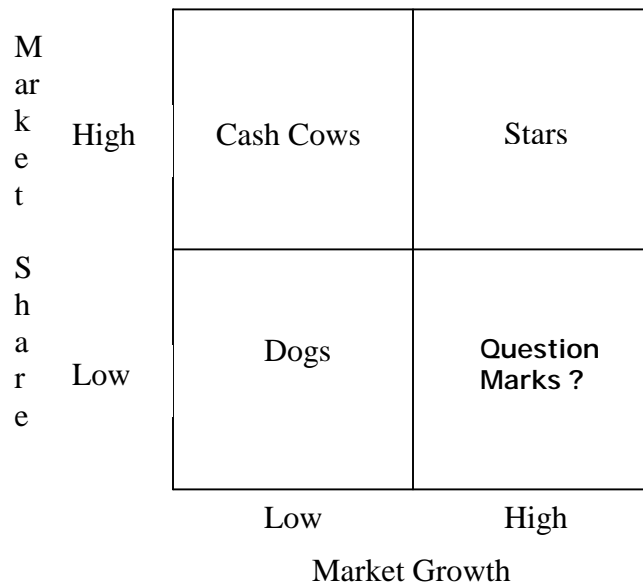


Catatan : Data pada tabel diatas adalah fiktif dan semata-mata digunakan hanya untuk memberikan ilustrasi pemahaman makalah ini.

Selanjutnya, kinerja perusahaan dapat dilihat dengan menggunakan rasio yang diperoleh dari laporan keuangan.

### Sudut Pandang Keadaan Pasar.

Cara lain untuk melihat kondisi suatu organisasi adalah dengan melihat hubungan antara besar dan pertumbuhan pasar dimana organisasi itu berada. Salah satu cara yang banyak digunakan adalah dengan menggunakan matriks yang dikembangkan oleh Boston Consultancy Group (BCG) [Johnson, Scholes, 1997] untuk memberikan gambaran posisi dari sebuah perusahaan terhadap besar dan pertumbuhan pasar dari bidang yang diterjuni oleh organisasi tersebut sebagaimana terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Boston Consultancy Group (BCG) matrix

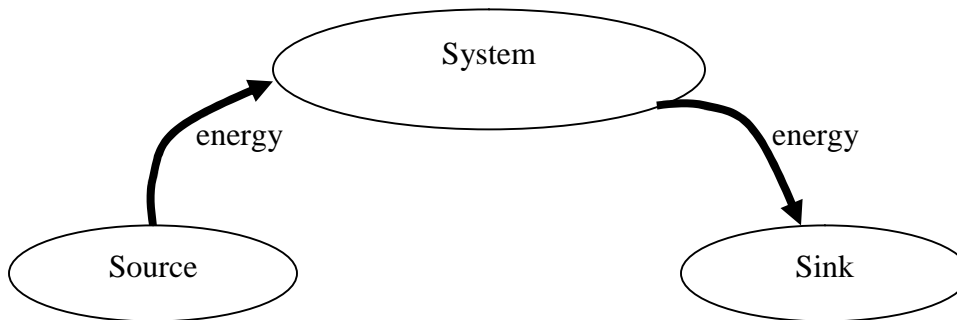
Lazimnya, sebuah usaha dimulai pada kuadran Question Marks, dimana organisasi belum memiliki pasar namun pertumbuhan pasar dari bidang usaha tersebut tinggi. Dengan meningkatkan investasi, maka sebuah organisasi dapat berpindah kuadran dari Question Marks ke Stars. Dengan berjalannya waktu, market share yang terus meningkat akan membawa organisasi tersebut ke kuadran lainnya, yaitu Cash Cows dimana pada saat ini kondisi pasar telah mulai jenuh dan organisasi telah menguasai pasar dengan baik. Selanjutnya apabila organisasi tersebut tidak dapat memelihara kinerjanya serta tidak dapat membaca kebutuhan konsumen, maka posisi organisasi itu dapat pindah ke



kuadran Dogs. Dalam posisi ini, market share akan berkurang karena pasar sudah tidak membutuhkan lagi produk dari organisasi tersebut atau telah muncul produk lain yang ditawarkan oleh pihak lain.

### 3. Bagaimanakah Pengamatan Dilakukan ?

Berbagai sifat gejala alam dapat dianalogikan dengan keadaan yang terjadi pada dunia usaha. Hal yang paling mendasar adalah energi. Energi adalah sesuatu yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu kegiatan dimana energi bersifat kekal, yaitu tidak dapat dibuat atau dihilangkan, akan tetapi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain sebagaimana terlihat pada gambar 2 [Wellstead, 1979].



Gambar 2. Sistem dan Energi

Dalam dunia usaha, energi dapat dianalogikan dengan suatu sumber daya untuk menggerakkan suatu kegiatan usaha. Dengan mengamati laporan keuangan perusahaan, maka energi ini dapat diwakilkan oleh Asset perusahaan. Liability dan Equity (serta untung/ rugi) merupakan energi dalam bentuk lain yang akan diubah kedalam bentuk asset dimana asset inilah yang digunakan dalam menjalankan suatu kegiatan.

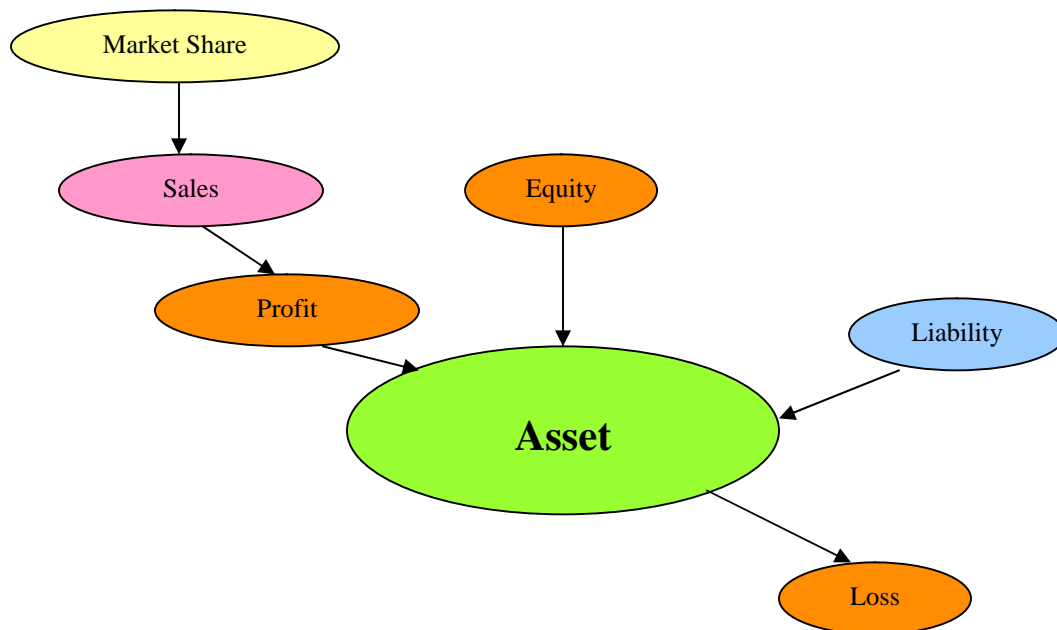
Apabila perusahaan berada dalam keadaan merugi, maka energi (asset) perusahaan itu dikatakan telah berubah kedalam bentuk lain, yaitu dalam bentuk yang diubah menjadi energi milik *customer* (pelanggan) atau menjadi dissipasi. Dissipasi dari energi sebetulnya adalah tidak ada, karena yang terjadi adalah sebetulnya perubahan energi dalam bentuk lain (biasanya ke dalam bentuk panas) yang tidak dapat diperoleh kembali oleh sistem [Wellstead; 1979]. Dalam dunia usaha, dissipasi dapat diartikan sebagai sesuatu produk yang menjadi tidak terpakai oleh perusahaan maupun customer, namun masih dapat dimanfaatkan oleh pihak lain, misal besi bekas yang diambil oleh pemulung



(seperti panas yang diserap oleh lingkungan dalam suatu kejadian fisika). Pada hakikatnya, segala sesuatu yang memiliki nilai (jual) dapat dikatakan sebagai bentuk energi yang berubah dalam bentuk lain.

Permasalahan didalam menjalankan suatu perusahaan adalah bagaimana memanfaatkan energi yang dimiliki oleh perusahaan tersebut (asset) agar dapat melakukan usaha sehingga dapat meningkatkan jumlah asset perusahaan. Secara sederhana yang dimaksudkan dengan usaha adalah menghasilkan dan menjual produk (dalam kondisi yang lebih jauh, dapat pula diartikan melakukan akuisisi terhadap perusahaan lain, dsb).

Keterkaitan asset dari perusahaan dengan komponen lain dapat dilihat dalam gambar 3 berikut :



Gambar 3. Sumber energi yang membentuk asset perusahaan

Dengan melihat gambar 3, sumber energi yang diharapkan dapat berfungsi dalam jangka panjang adalah Profit dan secara bertahap sumber energi dari Liability harus dikurangi dan diganti dengan sumber energi dari Profit (bila tidak organisasi dapat memiliki potensi untuk bangkrut). Oleh karena itu, customer harus dilihat sebagai bagian penting dari sistem dan sangat kritikal untuk terus dipelihara.



Didalam mempelajari suatu sistem, terdapat 2 jenis variabel dasar yang mana hasil perkalian dari 2 variabel tersebut akan menghasilkan energi setelah diintegrasikan terhadap waktu [Wellstead, 1979]. Variabel tersebut adalah **across variable** (nilai variable ini harus diukur terhadap suatu titik referensi) dan **through variable** (nilai variable ini bila diukur tidak memerlukan suatu titik referensi). Contoh dari across variable adalah tegangan (listrik) dan kecepatan (mekanik), sedangkan through variable adalah arus (listrik) dan gaya (mekanik). Sehingga kedua variable ini merupakan komponen yang penting untuk diperhatikan didalam menilai suatu energi.

Bila digunakan analogi dalam sistem listrik, maka

Across variable =  $v$  = tegangan (perlu suatu titik acuan didalam mengukur besar tegangan, sehingga alat ukur diletakan secara parallel).

Through variable =  $i$  = arus (tidak memerlukan suatu titik acuan didalam mengukur besar arus, sehingga alat ukur diletakan secara seri).

Daya =  $W = v \times i$  (1)

Energi =  $E = \int W dt$  (2)

Dimana energi pada persamaan 2 memiliki sifat yang serupa dengan Asset dalam suatu perusahaan.

Dengan berpedoman pada Laporan Keuangan, maka analogi pada sistem listrik ini dapat didekati dengan

Across variable =  $P$  = harga jual per buah (diukur dengan acuan terhadap biaya produksi) (3)

Through variable =  $U$  = rate volume penjualan (jumlah unit yang terjual per satuan waktu) (4)

Perkalian dari 2 variable  $P$  dan  $U$  ini akan menghasilkan **Power** (daya) dan selanjutnya akan diintegrasikan terhadap waktu untuk mendapatkan Energi (Asset) dengan batas integrasi diambil dari periode Income Statement. Dengan demikian, maka profit yang diterima akan merupakan suatu energi bagi perusahaan itu yang selanjutnya akan diakumulasikan dan menjadi asset perusahaan.



Selanjutnya, bagaimanakan kondisi pasar dapat mempengaruhi suatu organisasi dapat digunakan sifat yang ditemui dalam sistem mekanik, yaitu momentum.

Didalam mekanika, momentum,  $M$ , dapat didefinisikan sebagai :

$$M = F\Delta t = mV \quad (5)$$

dimana :

$F$  (through variable): gaya yang bekerja pada sebuah objek.

$m$  : massa dari objek.

$V$  (across variable) : kecepatan bergerak dari objek.

Sebagaimana halnya dengan tegangan dan arus, sifat momentum ini dapat dianalogikan pula pada suatu perusahaan, yaitu merupakan

$M = \text{volume penjualan pada suatu periode ( = rate volume penjualan } \times \Delta t ) = m \times P$

$$M = U\Delta t \cong mP \quad (6)$$

$$m \cong \frac{U\Delta t}{P} \quad (7)$$

$m$  dalam hal ini merupakan suatu nilai yang menunjukkan dampak dari suatu produk didalam pasar (kemampuan suatu produk untuk mempertahankan existensi dirinya atau tidak tergesernya suatu produk sebagai akibat adanya energi lain yang ditimbulkan oleh kompetitor).

Persamaan (7) menunjukkan bila dampak dari suatu produk ingin diperbesar, maka jumlah unit yang terjual dalam suatu periode perlu ditingkatkan atau harga jual dari produk tersebut perlu diturunkan. Hal ini memiliki kaitan erat dengan *cost efficiency* yang merupakan fungsi dari *economies of scale, experience, product/ design dan supply cost* [Johnson, Scholes, 1997].

Apabila dilakukan pengamatan pada BCG matriks, dari proses berpindahnya letak perusahaan dari kuadran Question Marks ke kuadran Cash Cows, maka keadaan ini serupa dengan keadaan transient yang sering dijumpai pada sistem listrik atau mekanik. Oleh karena itu, pengamatan lebih jauh akan dapat menghasilkan persamaan diferensial yang memodelkan sifat ini. Walaupun saat ini persamaan diferensial umumnya digunakan untuk memodelkan masalah yang bersifat ekonomi makro, namun dapat pula dikembangkan untuk melakukan pemodelan kinerja dari sebuah perusahaan.



Proses berpindahnya kuadran ini dilakukan dengan meningkatkan momentum dari produk tersebut. Dalam kondisi ini, maka organisasi tersebut dapat relative mudah mengalahkan produk dari organisasi lain. Namun harus diperhatikan, dengan bertambah besarnya momentum ini, maka perusahaan tersebut menjadi lebih kaku (kurang tanggap untuk memberikan respons) dalam mengendalikan produk tersebut.

Contoh yang sederhana dapat dilihat bahwa, karena momentum diperbesar à volume penjualan diperbesar à sistem produksi lebih bersifat *mass production* à berarti tidak flexible terhadap product variety. Disisi lain, karena volume penjualan diperbesar à investasi perlu diperbesar à liability lebih besar à berarti perlu usaha (energi) lebih besar untuk mengembalikan liability tersebut.

Sedangkan berpindahnya posisi perusahaan dari kuadran Cash Cows ke kuadran Dogs disebabkan terjadinya suatu kerusakan pada sistem sehingga organisasi tidak dapat mempertahankan kinerjanya dan terjadi *energy loss* (kehilangan energi).

Beberapa kasus dalam dunia telematika (telekomunikasi dan informatika) memperlihatkan bahwa banyak incumbent telecommunication operators di dunia yang saat ini dalam kondisi sulit. Hal ini disebabkan karena produk mereka telah memiliki momentum yang sangat besar (terutama dengan adanya hak monopoli) sehingga investasi yang telah mereka tanamkan memiliki jumlah yang luar biasa. Hal ini berakibat mereka memiliki kelambanan untuk melakukan manuver dalam melaksanakan kegiatan usahanya sebagai akibat dari berkembangnya teknologi baru. Masalah Voice Over Internet Protocol (VoIP) sebagai salah satu alternatif untuk melakukan kegiatan telekomunikasi adalah merupakan salah satu contoh.

#### 4. Penutup

Aplikasi dari prinsip ekonomi dan kriteria yang umumnya digunakan sebagai pedoman dalam melihat kinerja perusahaan memiliki sifat yang serupa dengan permasalahan yang biasa dihadapi oleh seseorang dengan latar belakang teknik. Pemahaman terhadap across dan through variables, daya dan energi akan sangat membantu dalam melihat kinerja perusahaan. Analogi dari momentum dan massa amat diperlukan dalam mempelajari pasar dimana sebuah perusahaan berada.

Disinilah seorang Sarjana Sistem Komputer memiliki kelebihan yang dapat dimanfaatkan apabila ia mau belajar/ terjun dalam dunia usaha.





## 5. Referensi

Douglas, Evan J. *Managerial Economics : Analysis and Strategy*, Prentice Hall International Editions, 4<sup>th</sup> Edition, 1995.

Johnson, G., Scholes, K. *Exploring Corporate Strategy : Text and Cases*, Prentice Hall, 4<sup>th</sup> Edition, 1997.

Wellstead, P.E. *Introduction to Physical System Modelling*, Academic Press, 1979.

Weston, Fred W., Brigham, Eugene, F. *Managerial Finance*, The Dryden Press, 6<sup>th</sup> Edition, 1978

---

### Porter Diamond

Keuntungan sebagai Skom dapat melihat bagaimanakah sebaiknya memanfaatkan energi agar dapat berpindah ke Cash Cows. Apakah menunggu profit besar, ataukah menambahkan equity. Dan kita sadar, bahwa market itu ada batasnya. Oleh karena ada batasnya (dan konstan), maka akuisisi perusahaan merupakan salah satu cara untuk memperbesar energi (tidak perlu harus mulai dari nol).

Kapasitor = Stock/ Gudang.

Induktor = menimbulkan biaya pemasaran (biaya pemasaran/ voltage akan timbul sejalan dengan perubahan dari  $dU/dt$  (yaitu perubahan nilai dari unit yang terjual per bulannya)

---

### Kekekalan Energi

### Kirchoff 1

Across Variable (asset???) & Through Variable (cash flow???)

### Momentum

Beberapa kasus dalam dunia telekomunikasi.

Incumbent Operators are very sluggish in adopting new approach except when they are already trapped in a corner -à adopting VoIP.

Many incumbent operators have difficulties in maintaining their profitability due to its enormous scale of business --à PTT in some countries collapse

Jumlah unit yang terjual harus dilihat relative terhadap kompetitornya dan kebutuhan pasar. Misal, kalau pasar hanya membutuhkan 2 buah unit, maka bisa menjual 1 unit sudah luar biasa.



## DAFTAR PUSTAKA

- <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/>
- <http://www.csaengineering.com/contsys/contsys.shtml/>
- Eykhoff, P., 1974, *System Identification (Parameter and State Estimation)*, J.W. Arrowsmith Ltd., Bristol, Great Britain
- Halliday D., and Resnick R., 1995, *Fisika*, Penerbit Erlangga
- Hanselman D., And Littlefield B., 2002, *MATLAB – Bahasa Komputasi Teknis*, Edisi Pertama, Penerbit ANDI Yogyakarta
- Kartowisastro, I.H., 2002, *Memahami Kinerja Perusahaan Dari Sudut Pandang Seorang Sarjana Sistem Komputer*, paper on National Conference of IT, Bina Nusantara University, Jakarta
- Kuo, B. J., 1992, *Digital Control System*, Saunders College Publishing, USA
- Ogata K., 2000, *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 1*, Penerbit Erlangga
- Purcell, E.J., and Varberg D., 1999, *Kalkulus dan Geometris Analitis Jilid 2*, Penerbit Erlangga
- Szymansky, 2000, *Introduction to Computer and Information System*, Merrill Publishing Company