

# **ANALISA PENENTUAN HARGA GAIN UNTUK KESTABILAN PADA SISTEM PENGENDALI DENGAN METODE ROUTH-HURWITZ**

**Sofiah**

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Palembang

Phone: 081271294198, (0711)518783, Email : sofikeran@ymail.com

## **Abstrak**

Sistem pengendalian manual masih tetap dipakai pada beberapa aplikasi tertentu. Biasanya proses ini dipakai pada proses-proses yang tidak banyak mengalami perubahan beban atau pada proses yang tidak krisis. Operator sebagai manusia biasa sangat mudah dipengaruhi oleh menurunnya konsentrasi kerja, rasa jemu dan keadaan lainnya. Pada kendali secara manual dapat diartikan bahwa kendali tipe ini dioperasikan oleh manusia sebagai operatornya, sebaliknya untuk kendali secara otomatis merupakan sistem kendali yang dioperasikan oleh mesin yang telah diatur, sehingga pengoperasian tersebut akan lebih membantu, khususnya dalam bidang sektor perindustrian. Secara prinsip, kerja sistem pengendalian otomatis sama dengan kerja manual. Kedua sistem tetap melakukan empat sistem pengendalian yaitu mengatur, membandingkan, menghitung dan mengoreksi. Penelitian ini menggunakan metode Routh-Hurwitz dan program *MATLAB* untuk menjalankan sistem kendali tersebut.

*Kata kunci: sistem pengendalian, metode Routh-Hurwitz, MATLAB*

## **PENDAHULUAN**

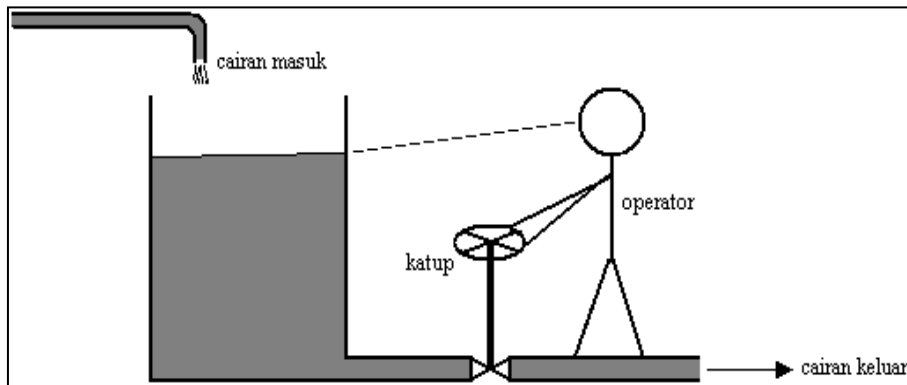
Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi semakin pesat di setiap bidang dengan segala kemudahan-kemudahan yang ditawarkan menyebabkan manusia sangat terbantu. Pada masa sekarang ini perindustrian di negara kita mengalami perkembangan yang cukup pesat, baik perindustrian besar maupun industri kecil. Sejalan dengan perkembangan industri tersebut kebutuhan akan meningkat pula sesuai dengan kebutuhan pasar.

Bidang perindustrian saat ini mengenal berbagai jenis pengendali, baik pengendali secara manual ataupun otomatis. Kendali secara manual dapat diartikan bahwa kendali tipe ini dioperasikan oleh manusia sebagai operatornya, sebaliknya kendali secara otomatis merupakan sistem kendali yang dioperasikan oleh mesin yang telah di atur, sehingga pengoperasian tersebut akan lebih membantu, khususnya dalam bidang sektor perindustrian. Penelitian ini menggunakan metode Routh-Hurwitz dan program *MATLAB* untuk menjalankan sistem kendali tersebut.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

**Sistem Pengendalian Secara Manual** (Cekdin, 2007 ; Dubey, 1989 ; Krause, 1987)

Sistem pengendalian secara manual adalah suatu sistem pengendalian yang dilakukan oleh manusia sebagai operatornya. Sebagai contoh sistem pengendalian secara *manual* dapat dilihat seperti Gambar 1. Gambar tersebut adalah pengendalian tinggi permukaan cairan pada sebuah tangki. Operator mempertahankan permukaan cairan yang diinginkan (*set point*). Dalam hal ini permukaan cairan diingat oleh operator sendiri dan sebagai sensor adalah pengelihatannya. Operator membandingkan tinggi permukaan cairan sesungguhnya pada saat itu dengan tinggi permukaan cairan yang diinginkan dengan cara membuka atau menutup katup (*valve*) sebagai aktuator.

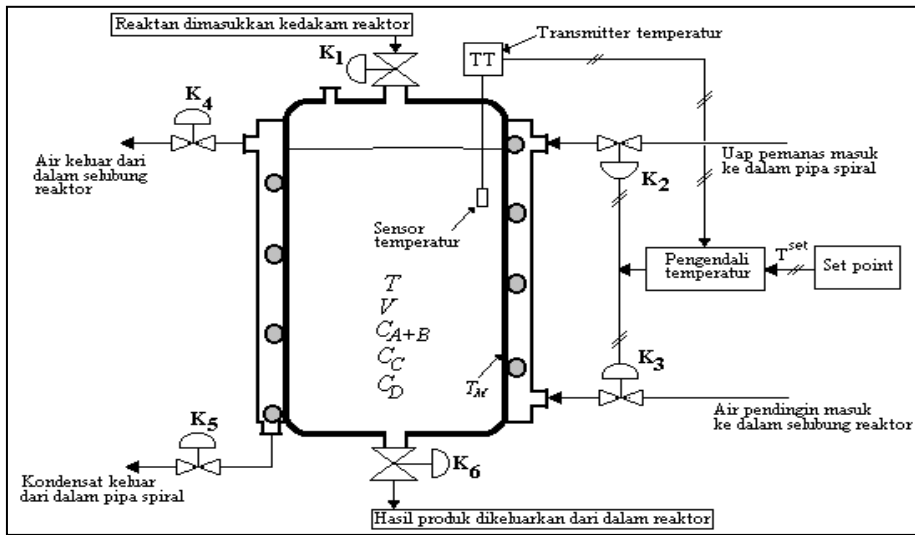


**Gambar 1. Pengendalian tinggi permukaan cairan secara *manual* pada sebuah tangki**

### **Sistem Pengendalian Secara Otomatis (Dubey,1989 ; Krause 1987 )**

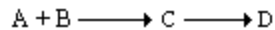
Gambar 2 memperlihatkan sebuah konfigurasi reaktor *batch* yang diisi reaktan. Reaktan yang akan diproses (bahan baku A dan B) dimasukkan melalui bukaan katup  $K_1$  ke dalam reaktor, sampai reaktor terisi penuh, kemudian katup  $K_1$  ditutup kembali. Agar reaktan tersebut dapat bereaksi untuk menghasilkan produk yang diinginkan, diperlukan temperatur kerja yang tertentu. Untuk keperluan tersebut, uap pemanas dimasukkan ke dalam pipa spiral uap yang ada di dalam selubung reaktor, melalui bukaan katup  $K_2$ . Uap pemanas memanaskan dinding reaktor sampai dengan temperatur  $T_j$ . Dinding reaktor akan mengkonduksi panas tersebut dengan temperatur  $T_M$ , kemudian panas yang dikonduksi oleh dinding reaktor akan ditransfer ke reaktan, sehingga temperatur reaktan  $T$  akan menjadi naik hingga mencapai temperatur kerja.

Setelah temperatur kerja tercapai, reaktan akan bereaksi dan reaksi tersebut adalah reaksi eksoterm, sehingga mengakibatkan temperatur dalam tangki reaktor akan bertambah tinggi. Oleh sebab itu uap pemanas harus dikurangi sampai dengan jumlah yang sesuai. Apabila temperatur reaktan masih naik terus maka perlu dilakukan pendinginan, untuk itu katup  $K_2$  harus ditutup, sedangkan katup  $K_3$  harus dibuka untuk memasukkan air pendingin yang dibutuhkan ke dalam ruang selubung reaktor, kemudian air pendingin tersebut akan keluar melalui bukaan katup  $K_4$ . Jumlah air pendingin yang dimasukkan ke dalam selubung reaktor harus diatur sedemikian rupa agar temperatur reaktan didalam reaktor tetap mencapai temperatur kerja ( $T^{set}$ ).



**Gambar 2. Pengendalian temperatur secara otomatis pada sebuah reaktor *batch***

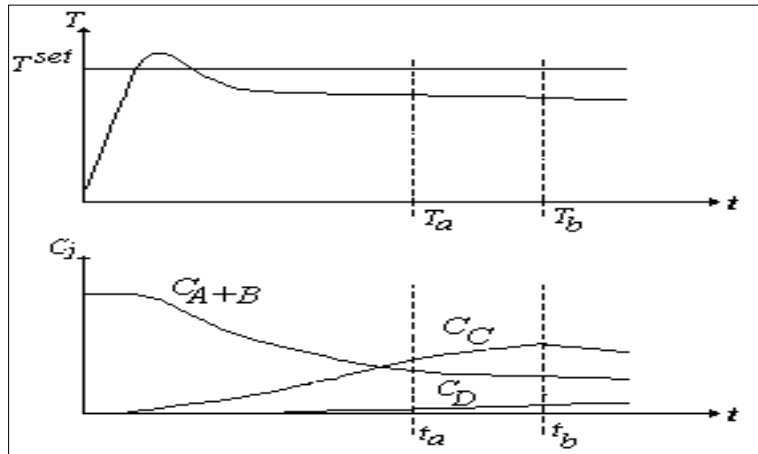
Setelah temperatur reaktan mencapai temperatur kerja, maka akan terjadi reaksi yang berurutan sebagai berikut:



Produk yang diinginkan adalah komponen C. Bila reaksi berlangsung terlalu lama maka akan terjadi reaksi lanjut yang menguraikan komponen C untuk menjadi komponen D, sehingga bila reaksi dibiarkan terlalu lama maka komponen C akan bereaksi terlalu banyak membentuk komponen D yang tidak diinginkan. Bila reaksi dihentikan terlalu cepat maka komponen A dan B terlalu sedikit bereaksi dan komponen C yang dihasilkan terlalu sedikit terbentuk. Karena itu ada suatu waktu yang optimum dimana seharusnya reaksi harus dihentikan. Pemilihan lamanya proses reaksi *batch* tersebut dapat ditentukan secara grafis seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Pada gambar tersebut konsentrasi komponen A dan B makin lama makin mengecil, sehingga konsentrasi komponen C yang dihasilkan makin lama makin membesar, akan tetapi setelah mencapai waktu tertentu ( $t_b$ ) konsentrasi komponen C menjadi berkurang, hal ini disebabkan terjadinya reaksi lanjut yang mengubah konsentrasi komponen C untuk menjadi konsentrasi komponen D, sehingga konsentrasi komponen D makin lama makin membesar. Hal ini tidak diinginkan. Hasil yang diinginkan adalah konsentrasi komponen C yang terbesar. Dari Gambar 3 dapat ditentukan bahwa pada waktu  $t = t_b$  komponen C dengan konsentrasi yang tertinggi sedangkan konsentrasi komponen D relatif sedang dan konsentrasi komponen A dan B relatif kecil, sehingga waktu *batch* ditentukan sebesar  $t_b$ .

Agar temperatur reaktan  $T$  dapat mengikuti temperatur kerja (temperatur set point  $T^{set}$ ) maka perlu dikendalikan, yaitu dengan pengendali temperatur. Pengendali temperatur adalah mengatur katup uap pemanas  $K_2$  terbuka dan katup  $K_3$  tetap tertutup selama pemanasan berlangsung. Katup  $K_4$  tempat air pendingin keluar dan katup  $K_5$  tempat kondensat keluar dibiarkan terbuka. Temperatur reaktan  $T$  akan dideteksi oleh sensor temperatur yang dipasang diujung transmitter temperatur. Transmitter temperatur akan mengirim sinyal ke pengendali temperatur. Bila temperatur reaktan  $T$  melebihi temperatur set point  $T^{set}$ , maka

pengendali temperatur mengirim sinyal katup uap pemanas  $K_2$  untuk memerintahkan menutup bukaan katup tersebut dan membuka katup air pendingin  $K_3$ . Pembukaan katup  $K_3$  ini adalah untuk memasukan air pendingin ke dalam selubung reaktor. Pemasukan air pendingin ke dalam selubung reaktor gunanya adalah untuk mengurangi temperatur reaktan  $T$  sehingga dapat mengikuti temperatur set point  $T^{set}$ . Sistem pengendali temperatur ini dinamakan *split control system*.



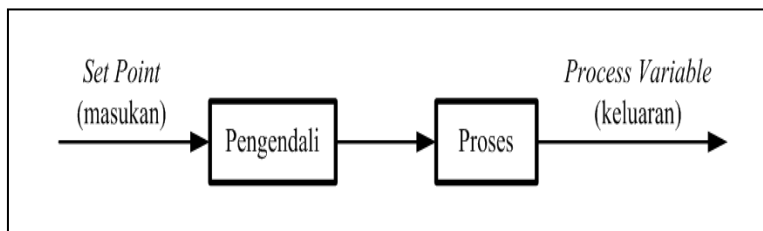
**Gambar 3. Sketsa temperatur reaktan dan hasil konsentrasi batch**

Pengendalian dengan *split control system* adalah suatu sistem pengendali untuk mengendalikan dua buah katup yang saling dikoordinasikan, yaitu katup uap pemanas  $K_2$  dan katup air pendingin  $K_3$ .

**Sistem Pengendali Loop Terbuka dan Tertutup** (Cekdin, 2007; P,Kundur, 1993 ; Krause,1987 )

**Sistem Pengendalian Loop Terbuka**

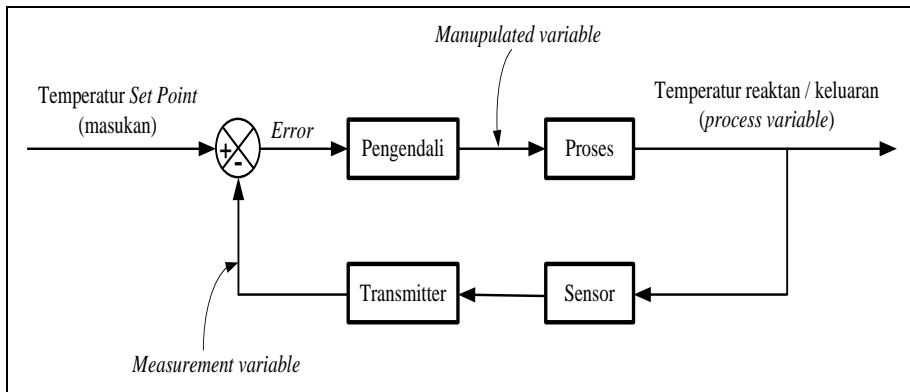
Sistem pengendalian *loop* terbuka adalah sistem pengendalian yang keluarannya (*process variable*) tidak dapat dibandingkan dengan masukan acuan (*set point*). Sebagai contoh sistem pengendalian *loop* terbuka adalah mesin cuci. Perendaman, pencucian dan pembilasan dilakukan atas basis waktu. Gambar diagram blok sistem pengendalian *loop* terbuka dapat dilihat seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4. Diagram blok sistem pengendali loop terbuka**

**Sistem Pengendalian Loop Tertutup**

Sistem pengendalian *loop* terbuka adalah sistem pengendalian yang keluarannya (*process variable*) dapat dibandingkan dengan masukan acuan (*set point*). Sebagai contoh sistem pengendalian *loop* tertutup adalah pengendalian temperatur reaktan (*process variable*) secara otomatis pada sebuah reaktor *batch* . Gambar diagram blok sistem pengendalian *loop* terbuka dapat dilihat seperti pada Gambar .5.



**Gambar 5. Diagram blok sistem pengendali loop tertutup**

**Fungsi Alih**

Dalam teknik kendali, fungsi yang disebut fungsi alih seringkali digunakan untuk mencirikan hubungan masukan-keluaran dari sistem linier parameter konstan. Dapat juga diperluas untuk suatu sistem kendali non linier.

Fungsi alih sistem linier parameter konstan didefinisikan sebagai perbandingan dari transformasi Laplace keluaran (fungsi tanggapan) dan transformasi Laplace masukan (fungsi penggerak), dengan menganggap semua syarat awal nol. Tinjau sistem linier parameter konstan yang didefinisikan persamaan diferensial sebagai berikut

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} \dot{y} + a_n y = b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1} \dot{x} + b_m x \quad (n \geq m) \quad (1)$$

dengan *y* adalah keluaran sistem dan *x* adalah masukan. Fungsi alih dari sistem ini diperoleh dengan mencari transformasi Laplace dari kedua ruas Persamaan 1, dengan menganggap semua syarat awal nol akan didapat :

$$\text{Fungsi alih} = G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n} \quad (2)$$

Dengan menggunakan konsep ini adalah menyatakan dinamika suatu sistem dengan beberapa persamaan aljabar dalam *s*. Pangkat tertinggi dari *s* pada penyebut fungsi alih sama dengan orde suku turunan tertinggi dari keluaran. Jika pangkat tertinggi dari *s* tersebut *n*, maka sistem tersebut disebut sistem orde ke-*n*.

Langkah-langkah untuk mencari fungsi alih suatu sistem adalah sebagai berikut :

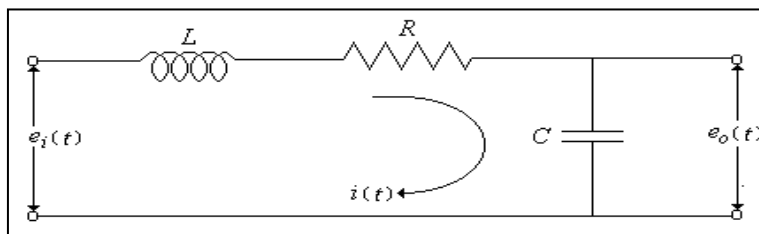
1. Tulis persamaan diferensial dari sistem
2. Cari transformasi Laplace dari persamaan diferensial, dengan menganggap semua syarat awal nol.
3. Cari perbandingan dari keluaran dan masukan. Perbandingan ini adalah fungsi alih yang dicari.

### Rangkaian L-R-C. (Cekdin, 2007; P,Kundur, 1993 )

Tinjau rangkaian listrik yang ditunjukkan seperti pada Gambar 6. Rangkaian tersebut terdiri dari induktansi  $L$ , tahanan  $R$ , dan kapasitansi  $C$ . Pada rangkaian tersebut  $e_i(t)$  dan  $e_o(t)$  adalah tegangan masukan dan keluaran. Dengan menerapkan hukum Kirchoff didapat persamaan diferensial rangkaian seperti berikut :

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t).dt = e_i(t) \quad (3)$$

$$\frac{1}{C} \int i(t).dt = e_o(t) \quad (4)$$



Gambar 6. Rangkaian listrik

Tranformasi Laplace setiap suku pada Persamaan 3 dan 4 didapat :

$$\mathcal{L} \left[ L \frac{di(t)}{dt} \right] = L[sI(s) - i(0)]$$

$$\mathcal{L} [Ri(t)] = R.I(s)$$

$$\mathcal{L} \left[ \frac{1}{C} \int i(t).dt \right] = \frac{1}{C} \left[ \frac{i^{-1}(0)}{s} + \frac{I(s)}{s} \right]$$

$$\mathcal{L} [e_i(t)] = E_i(s)$$

$$\mathcal{L} [e_o(t)] = E_o(s)$$

Dengan menganggap semua syarat awal nol, sehingga  $i(0) = 0$  dan  $i^{-1}(0) = 0$ , maka transformasi Laplace dari Persamaan 3 dan 4 adalah

$$LsI(s) + RI(s) + \frac{1}{C} \frac{1}{s} I(s) = E_i(s)$$

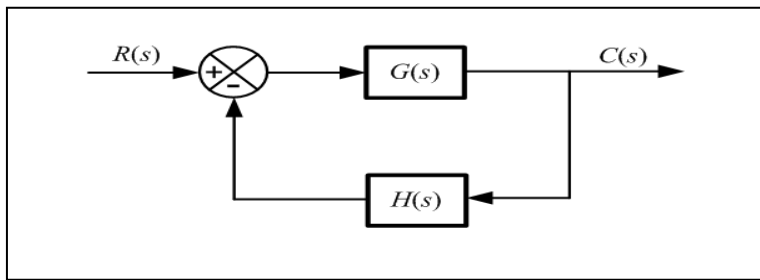
$$\frac{1}{C} \frac{1}{s} I(s) = E_o(s)$$

Jika  $E_i(s)$  sebagai masukan dan  $E_o(s)$  sebagai keluaran, maka fungsi alih rangkaian adalah :

$$G(s) = \frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{(LCs^2 + RCs + 1)} \quad (5)$$

**Konsep Kestabilan** (Robandi, 2009 ; Peranginangi, 2004 )

Kestabilan sistem *loop* tertutup dapat ditentukan dari lokasi kutub *loop* tertutup pada bidang  $s$ . Apabila ada beberapa kutub berada sebelah kanan sumbu  $j\omega$  pada bidang  $s$ , maka sistem tersebut tidak stabil. Dan jika semua kutub *loop* tertutup berada sebelah kiri sumbu  $j\omega$  pada bidang  $s$ , maka sistem tersebut stabil. Perhatikan sistem kendali *loop* tertutup pada Gambar 6.



**Gambar 6. Sistem kendali *loop* tertutup**

Fungsi alih Gambar 6 adalah :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (6)$$

Jika fungsi alih dari Persamaan 6 dapat ditulis menjadi :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\prod_{i=1}^m (s + z_i)}{\prod_{j=1}^q (s + p_j) \prod_{k=1}^r (s + \sigma_k + j\omega_k)} \quad (7)$$

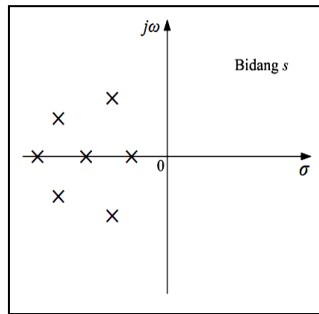
dengan  $q + 2r = n$ , dan  $m \leq n$ . Bentuk umum akar-akar persamaan karakteristik dari Persamaan 7 adalah sebagai berikut :

$$s = - p_j \quad (8)$$

$$s = - \sigma_k - j\omega_k \quad (9)$$

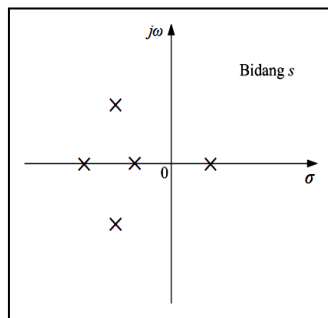
Dari Persaman 8 dan 9, untuk menentukan sistem stabil atau tidak stabil adalah sebagai berikut :

1. Bila semua  $p_j$  dan  $\sigma_k$  adalah negatif, maka sistem stabil seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Konfigurasi kutub-kutub sistem stabil

2. Bila salah satu  $p_j$  atau  $\sigma_k$  adalah positif, maka sistem tidak stabil seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Konfigurasi kutub-kutub sistem tidak stabil

**Kriteria Kestabilan Routh – Hurwitz** (Robandi,2006 ; P, Kundur,1993)

Kriteria kestabilan Routh-Hurwitz dapat digunakan untuk mengetahui jumlah kutub-kutub pada *loop* tertutup yang terletak pada daerah tidak stabil tanpa perlu penyelesaian persamaan karakteristik sistem yang bersangkutan. Dengan demikian, kriteria ini dapat menentukan apakah suatu sistem stabil atau tidak, walaupun kriteria ini tidak dapat menentukan lokasi akar-akar. Untuk sistem orde satu dan orde dua, akar-akar ini dapat ditentukan secara analitis. Tetapi untuk sistem orde lebih tinggi, dengan suatu persamaan polinomial orde  $n$  kestabilan dapat ditentukan dengan kriteria kestabilan Routh-Hurwitz. Dengan kriteria ini dapat diperoleh secara langsung kestabilan mutlak. Anggap fungsi alih *loop* tertutup suatu sistem sebagai berikut :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}, \quad (m \leq n) \quad (10)$$

Untuk menentukan kestabilan dari Persamaan 9 dengan kriteria kestabilan Routh-Hurwitz adalah dengan memberikan jawaban atas persoalan pada persamaan karakteristik yang berbentuk seperti berikut :



$$Q(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0 \tag{11}$$

Dari Persamaan 10 bila ada koefisien yang berharga nol atau negatif, maka koefisien positif terkecil adalah akar atau akar *imaginer* yang mempunyai bagian *real* positif. Dalam hal ini, sistem tidak stabil. Penting diperhatikan bahwa kondisi dengan semua koefisien positif belum cukup untuk mendapatkan kestabilan. Dan bila semua koefisien positif, buat susunan deret Routh-Hurwitz seperti berikut :

$$\begin{array}{l|llll}
 s^n & a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & a_{n-6} & \dots \\
 s^{n-1} & a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & a_{n-7} & \dots \\
 s^{n-2} & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & \dots \\
 s^{n-3} & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & \dots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & & & \\
 s^2 & k_1 & k_2 & & & \\
 s^1 & l_1 & & & & \\
 s^0 & m_1 & & & & 
 \end{array}$$

Dengan :

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{a_{n-1} a_{n-2} - a_n a_{n-3}}{a_{n-1}} \\
 b_2 &= \frac{a_{n-1} a_{n-4} - a_n a_{n-5}}{a_{n-1}} \quad . \quad . \quad . \\
 b_3 &= \frac{a_{n-1} a_{n-6} - a_n a_{n-7}}{a_{n-1}}
 \end{aligned}$$

dan seterusnya sampai diperoleh sisa nol. Begitu juga untuk koefisien-koefisien harga *c* dapat dicari dengan :

$$\begin{aligned}
 c_1 &= \frac{b_1 a_{n-3} - a_{n-1} b_2}{b_1} \\
 c_2 &= \frac{b_1 a_{n-5} - a_{n-1} b_3}{b_1} \\
 c_3 &= \frac{b_1 a_{n-7} - a_{n-1} b_4}{b_1}
 \end{aligned}$$

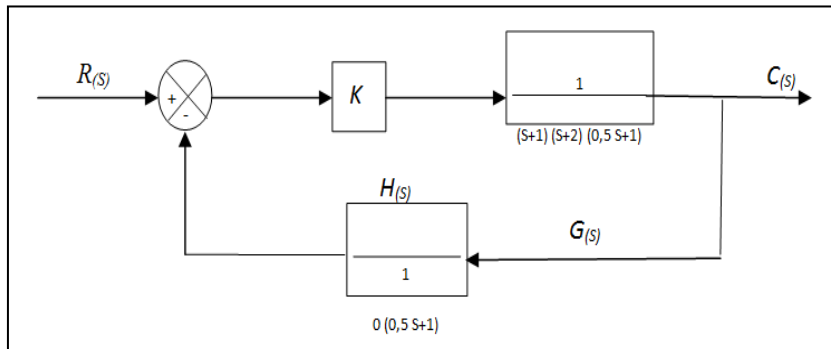
dan seterusnya sampai diperoleh sisa nol. Proses ini diteruskan sampai baris ke *n* secara lengkap. Susunan lengkap dari koefisien-koefisien berbentuk segitiga.

Kriteria kestabilan Routh-Hurwitz menyatakan bahwa banyaknya akar bagian nyata positif sama dengan banyaknya perubahan tanda dari koefisien-koefisien pada kolom pertama dari susunan deret Routh-Hurwitz atau semua koefisien pada kolom pertama mempunyai tanda positif, tidak ada perubahan tanda.

**ANALISA PERHITUNGAN**

**Diagram Blok Sistem Kendali**

Gambar diagram oleh sistem kendali untuk simulasi diambil dari PT. MEKAR JAYA ABADI. Diagram blok berupa motor arus searah dengan tegangan 440 volt, 1500 rpm, 60 ampere seperti Gambar 9 di bawah ini :



**Gambar 9. Diagram blok sistem kendali**

Gambar 9 diatas dimana  $R(s)$  arah masukkan yang berupa putaran mesin, begitu juga keluaran  $C(s)$ . Putaran mesin diatur dengan penguatan/gain pada gambar diagram blok dengan simbol  $K$ .

### Fungsi Alih Sistem

Gambar 9 memperlihatkan fungsi alih proses dan kendali adalah sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{K}{(s+1)(s+2)(0.5s+1)}$$

Dan untuk fungsi alih umpan balik adalah sebagai berikut :

$$H(s) = \frac{1}{(0.005s+1)}$$

Sehingga fungsi alih *loop* tertutup pada satu arah adalah sebagai berikut :

$$T(s) = \frac{K(0.005s+1)}{0.0025s^4 + 0.5125s^3 + 2.52s^2 + 4.01s + 2 + K}$$

### Cara Menentukan Gain pada Sistem Kendali untuk Kestabilan

Dari persamaan fungsi alih *loop* tertutup sistem didapat persamaan karakteristik sebagai berikut :

$$0.0025s^4 + 0.5125s^3 + 2.52s^2 + 4.01s + (2 + K) = 0$$

Persamaan karakteristik diatas dapat disusun untuk menentukan *gain* dengan metode Routh-Hurwitz sebagai berikut :

$s^4$	0.0025	2.52	$2 + K$
$s^3$	0.5125	4.01	0
$s^2$	2.50	$2 + K$	
$s^1$	$3.6 - 0.205K$	0	
$s^0$	$2 + K$		

Sehingga didapat harga *gain* :  $- 2 < K < 17.6$

**Simulasi**

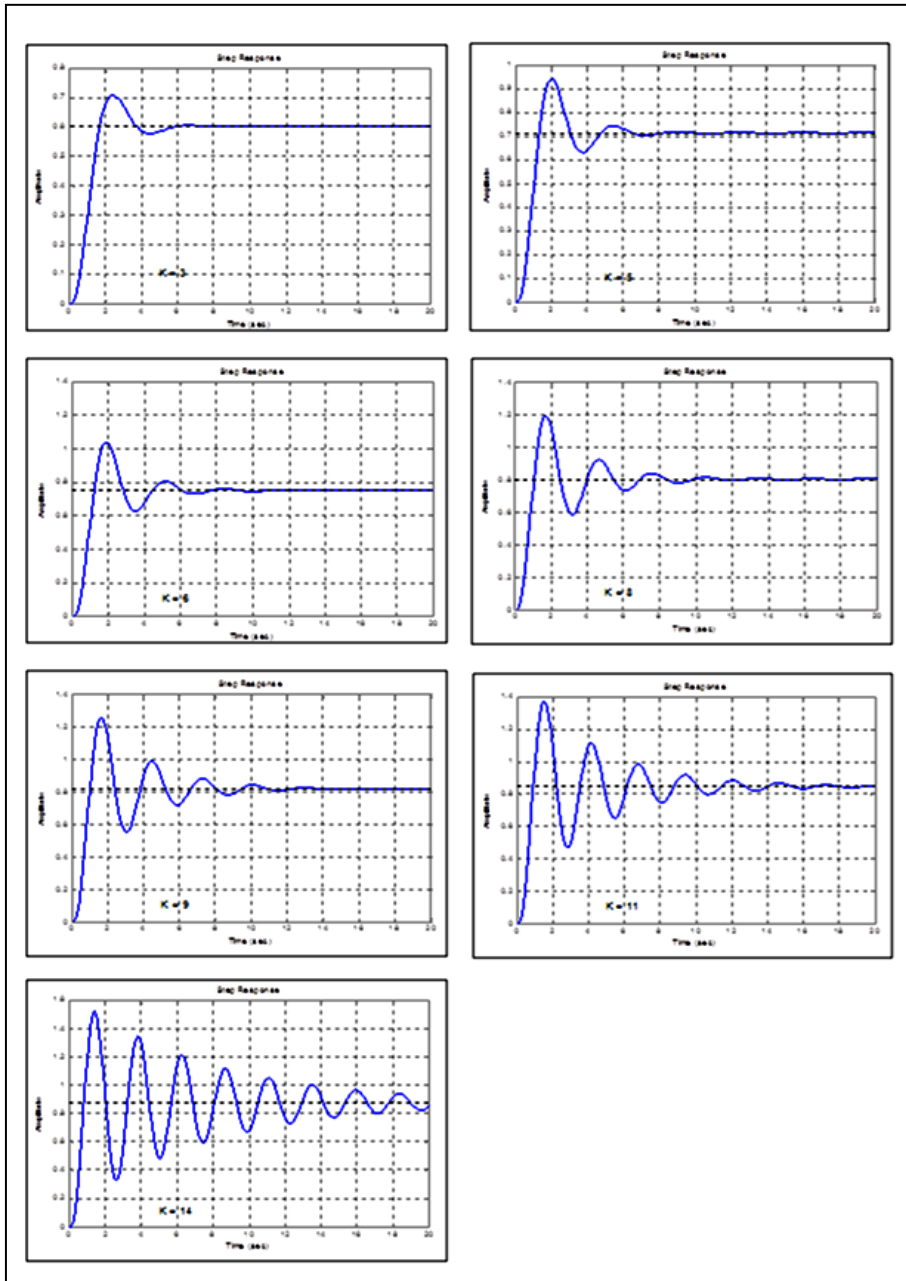
Dari fungsi alih *loop* tertutup dan harga *gain* maka dapat dibuat simulasi proses yang susunan programnya menggunakan bahasa program *MATLAB* sebagai berikut :

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% SIMULASI UNTUK MENGGAMBARKAN LANGKAH SATUAN
% DENGAN HARGA GAIN BERAVARIASI MELALUI METODA
% DENGAM METODA ROUTH-HURWITZ
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
K = 3;
num = [0 0 0 0.005*K K];
den = [0.0025 0.5125 2.52 4.10 (2+K)];
v = [0 20 0 1];
axis(v);
t = 0 : 0.1 : 20;
step(num,den,t)
hold on
grid on
text(5,0.1,'K = 3')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

**Gambar 10. Listing program *MATLAB* untuk harga *K* : 3, 5, 6, 8, 9, 11 dan 14**



Gambar 11. Hasil program *MATLAB* untuk harga  $K = 3, 5, 6, 8, 9, 11$  dan  $14$

## **SIMPULAN**

Dari hasil analisa perhitungan dapat disimpulkan bahwa dari fungsi alih *loop* tertutup dan harga *gain* dapat dibuat simulasi proses yang susunan programnya menggunakan bahasa program *MATLAB*. Dari hasil pencarian dengan menggunakan program *MATLAB* maka dapatlah hasil kurva *K* dengan masing- masing nilai yang telah ditentukan .

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Cekdin, Cekmas. 2007. *Sistem Tenaga Listrik Contoh Soal dan Penyelesaian Menggunakan MATLAB*. Andi Offset. Yogyakarta
- Cekdin, Cekmas. 2005. *Teori dan Contoh Soal Teknik Elektro Menggunakan Bahasa Pemrograman MATLAB*. Andi Offset. Yogyakarta
- Dubey, Gopal K. 1989. *Power Semiconductor Controlled Drives*. Prentice Hall.
- Krause, Paul. C. 1987. *Analysis of Electric Machinery*. McGraw-Hill Series in Electrical Engineering. Singapore
- P, Kundur. 1993. *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, Inc
- Peranginangi, Kasiman. 2004. *Pengenalan MATLAB*.
- Robandi, Imam. 2006. *Desain Sistem Tenaga Modern*. Andi Offset. Yogyakarta
- Zuhal. 2004. *Prinsip Dasar Elektro Teknik*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta