

## SIMULASI POLA TINGKAH LAKU KECEPATAN MOTOR DC DI TITIK OPERASI MEMPERGUNAKAN METODA PENEMPATAN KUTUB

**Heru Dibyo Laksono**

*Jurusan Teknik Elektro, Universitas Andalas Padang, Kampus Limau Manis, Padang, Sumatera Barat*

Email : [heru\\_dl@ft.unand.ac.id](mailto:heru_dl@ft.unand.ac.id)

### Abstract

*Dalam pengendalian perubahan kecepatan motor DC, model sistem bersifat nonlinier. Untuk menganalisa pola tingkah laku disekitar titik operasi, salah satu model sistem adalah dengan dilinierisasi di titik operasi. Dari model sistem yang dilinierisasi tersebut diperoleh persamaan keadaan untuk interkoneksi sistem tenaga listrik dan dapat digunakan metoda penempatan kutub, serta diupayakan suatu simulasi dengan variasi nilai kutub. Dari hasil simulasi didapatkan daerah stabil untuk bahan desain kontroller yang mengendalikan perubahan kecepatan Motor DC*

*Keyword : motor DC, metoda Penempatan Kutub*

### 1. PENDAHULUAN

Motor DC telah digunakan secara luas pada banyak aplikasi yang memerlukan kecepatan yang dapat diatur di bidang industri karena mempunyai karakteristik torsi dan kecepatan yang dapat dipilih. Pengendalian perubahan kecepatan Motor DC ini bisa dilakukan dengan berbagai metoda diantaranya metoda Linear Quadratic Gaussian (LQG), metoda Linear Quadratic Gaussian/Loop Transfer Recovery (LQG/LTR), Metoda  $H_2$  dan Metoda  $H_\infty$ .

Dalam pengaturan perubahan kecepatan Motor DC, ada banyak gangguan yang mungkin akan terjadi seperti kehilangan beban secara tiba-tiba sehingga kecepatan Motor DC menjadi lebih tinggi, perubahan nilai resistansi pada komutator Motor DC dan sebagainya, sehingga perlu studi kestabilan dinamik di sekitar titik operasinya dan mencoba menganalisa tingkah laku kestabilan kecepatan Motor DC menggunakan pendekatan metoda Penempatan Kutub. Hasil studi dapat menjadi bahan-bahan design kontroller untuk pengendalian perubahan kecepatan motor DC.

Dalam penelitian ini akan dibahas simulasi yang berkaitan dengan perancangan tahap mula sistem kendali linier untuk mengendalikan perubahan kecepatan motor DC. Syarat menggunakan metoda diatas adalah model motor DC harus bersifat linier. Untuk mendapatkan model linier tersebut, model sistem dilinierisasi di titik operasi tertentu

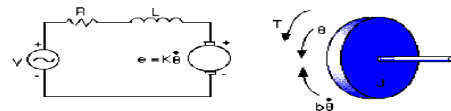
Penelitian ini bertujuan melakukan simulasi memperoleh bahan informasi mendisain kontroller dengan menggunakan metoda Penempatan Kutub yang mengendalikan perubahan kecepatan Motor DC.

Hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan informasi disain kontroller yang mengendalikan perubahan kecepatan motor DC

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Sistem dinamik Motor DC yang akan dikendalikan adalah sistem yang bersifat linier, tak berubah waktu dan kontinu.
2. Sistem dinamika Motor DC yang akan dikendalikan harus terkendali secara lengkap dan teramati
3. Gangguan dinamik yang terjadi pada motor DC diabaikan
4. Rotor dan shaft bersifat rigid

### 2. PEMODELAN MATEMATIS



**Gambar-1** Rangkaian Ekuivalen Motor DC

Dengan nilai parameter sebagai berikut :

- Moment Inersia ( $J$ ) =  $0.01 \frac{\text{kg.m}^2}{\text{s}^2}$
- Rasio Redaman ( $b$ ) =  $0.10 \text{ Nms}$
- Konstanta Gaya Elektromotif ( $K = K_e = K_t$ ) =  $0.01 \frac{\text{Nm}}{\text{amp}}$
- Resistansi ( $R$ ) =  $1 \text{ ohm}$
- Induktansi ( $L$ ) =  $0.5 \text{ H}$

Hubungan antara torsi motor ( $T$ ) dan arus armatur (i) sebagai berikut :

$$T = K_t i \quad (2.1)$$

Hubungan antara emf ( $e$ ) dan kecepatan sudut ( $\dot{\theta}$ ) sebagai berikut :

$$e = K_e \dot{\theta} \quad (2.2)$$

dimana  $K_t = K_e$  dengan

$K_t$  = Konstanta Armature

$K_t$  = Konstanta Motor

Dari Gambar-2.1 dapat diturunkan persamaan sebagai berikut :

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = K i \tag{2.3}$$

$$L \frac{di}{dt} + R i + K\dot{\theta} = v \tag{2.4}$$

Dengan menggunakan transformasi Laplace, persamaan (2.3) dan (2.4) dinyatakan dalam domain S dengan asumsi semua kondisi awal bernilai nol sebagai berikut :

$$Js^2\theta(s) + bs\theta(s) = KI(s) \tag{2.5}$$

$$LsI(s) + RI(s) = V(s) - Ks\theta(s) \tag{2.6}$$

dengan mengeliminasi  $I(s)$  pada persamaan (2.5) dan (2.6) diperoleh fungsi transfer loop terbuka yang menyatakan perbandingan kecepatan sudut rotor ( $\dot{\theta}$ ) sebagai output dengan tegangan sumber ( $v$ ) sebagai input sebagai berikut :

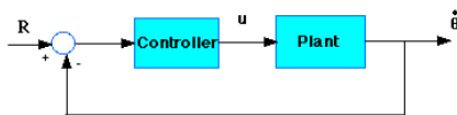
$$\frac{\dot{\theta}(s)}{V(s)} = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2} \tag{2.7}$$

Selain itu persamaan (2.7) juga dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan keadaan (*state space*) dengan kecepatan sudut rotor ( $\dot{\theta}$ ) dan arus ( $i$ ) sebagai *state variabel*, kecepatan sudut rotor ( $\dot{\theta}$ ) sebagai output dengan tegangan sumber sebagai input ( $v$ ) diperoleh :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & \frac{K}{J} \\ \frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} V$$

$$\dot{\theta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix}$$

dan blok diagram pengendalian kecepatan motor DC sebagai berikut :



Gambar-2 Blok Diagram Pengendalian Kecepatan Motor DC

**4. SIMULASI PERANCANGAN PENGENDALI**

Pengendali dirancang untuk mengendalikan kecepatan pada motor DC. Pada tahap penerapannya menggunakan simulasi untuk memperoleh bahan informasi disain controller dengan menggunakan metoda Penempatan Kutub

**4.1 Perancangan Pengendali Menggunakan Metoda Penempatan Kutub**

Untuk melakukan perancangan pengendali menggunakan metoda Penempatan Kutub pada

pengendalian kecepatan motor DC dilakukan pertama-tama adalah menghitung matrik keadaan yang dipergunakan dalam perancangan pengendali. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program matlab. Adapun matrik keadaan sebagai berikut :

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du \tag{4.1}$$

Pada umumnya, dalam perancangan kendali modern, masukan kendalian  $u$  adalah suatu fungsi keadaan, dengan bentuk :

$$u(t) = f[x(t)] \tag{4.2}$$

Persamaan ini disebut aturan kendali atau *hukum kendali* dalam perancangan penempatan Kutub, hukum kendali dinyatakan sebagai

$$u(t) = kx(t) \tag{4.3}$$

Dengan  $K$  adalah sebuah vektor  $1 \times u$  sebagai pengamatan konstan. Hukum kontrol ini mengijinkan seluruh Kutub seluruh sistem tertutup untuk ditempatkan pada sembarang tempat yang dikehendaki. Aturan ini dinyatakan sebagai

$$u(t) = -k_1x_1(t) - k_2x_2(t) - \dots - k_nx_n(t) \tag{4.4}$$

Sehingga kita lihat bahwa sinyal yang dibalikkan pada masukan kendalian merupakan suatu penjumlahan terbatas dari seluruh keadaan sistem tersebut.

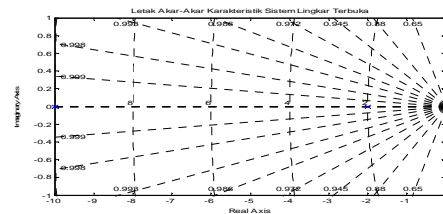
**4.2 Spesifikasi Perancangan Kontroller**

Sebelum perancangan dimulai, perlu ditetapkan terlebih dahulu spesifikasi sistem kendali sebagai pedoman dalam proses perancangan agar diperoleh hasil akhir yang sesuai dengan kebutuhan. Demikian halnya sistem kendali yang akan dirancang ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Lewatan maksimum < 10 %
2. Waktu keadaan mantap kurang < 0.4 detik

**4.3 Karakteristik Sistem Lingkak Terbuka Untuk Motor DC**

Untuk melihat karakteristik sistem lingkak terbuka pada Motor DC dapat dilihat dari letak akar-akar karakteristik sistem lingkak terbuka dalam Gambar-3 berikut ini :



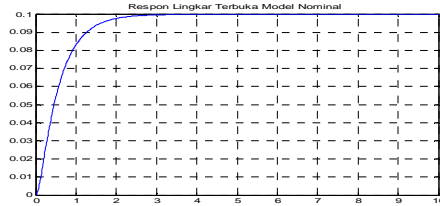
Gambar-3 Letak Akar-Akar Karakteristik Sistem Lingkak Terbuka Untuk Pengendalian Motor DC

Gambar-3 menunjukkan letak akar-akar karakteristik sistem lingkak terbuka semuanya disebelah kiri sumbu khayal dan sistem lingkak terbuka tersebut sudah bersifat stabil tetapi belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

**Tabel-1** Nilai Akar-Akar Karakteristik Sistem Lingkaran Terbuka Untuk Motor DC

Real	Imajiner
-2.0000	0.0000
-1.0000	0.0000

Simulasi respon waktu sistem lingkaran terbuka untuk pengendalian perubahan kecepatan Motor DC adalah



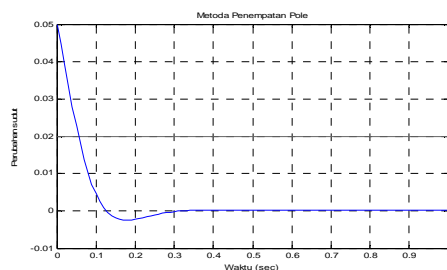
**Gambar-4** Hasil Simulasi Respon Waktu Sistem Lingkaran Terbuka Untuk Perubahan Kecepatan Pada Motor DC

Pada Gambar-4 hasil simulasi respon waktu sistem lingkaran terbuka untuk pengendalian perubahan kecepatan Motor DC sudah stabil tetapi belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

**5. HASIL SIMULASI**

Setelah dilakukan simulasi perancangan controller pengendalian perubahan kecepatan Motor DC menggunakan metoda penempatan Kutub, selanjutnya akan dilakukan analisis hasil perancangan dengan tujuan untuk melihat apakah controller yang dirancang dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan dan bagaimana kinerja yang dihasilkan apakah lebih baik atau tidak. Analisis yang dilakukan adalah analisis perubahan kecepatan Motor DC, dimana disimulasikan pengendalian perubahan kecepatan Motor DC untuk berbagai nilai Kutub. Berikut ini hasil simulasi respon waktu sistem lingkaran tertutup untuk beberapa nilai Kutub :

Nilai Kutub (p) : -15.0000



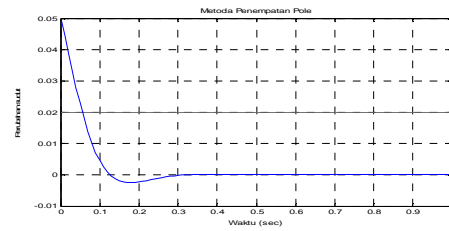
**Gambar-5** Hasil Simulasi Respon Waktu Sistem Lingkaran Tertutup Untuk Perubahan Kecepatan Motor DC Untuk Nilai Kutub -15.0000

**Tabel-2** Nilai Akar-Akar Karakteristik Sistem Lingkaran Tertutup Untuk Perubahan Kecepatan Motor DC Untuk Nilai Kutub -15.0000

Real	Imajiner
-15.0000	15.0000
-15.0000	-15.0000

Diperoleh  $k_1=25.0100$  dan  $k_2=-1.0000$

Nilai Kutub (p) : -20.0000



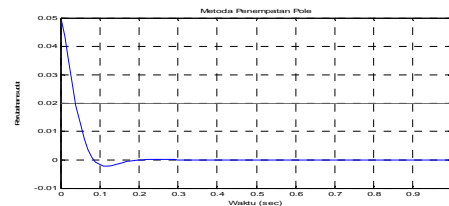
**Gambar-6** Hasil Simulasi Respon Waktu Sistem Lingkaran Tertutup Untuk Perubahan Kecepatan Motor DC Untuk Nilai Kutub -20.0000

**Tabel-3** Nilai Akar-Akar Karakteristik Sistem Lingkaran Tertutup Untuk Perubahan Kecepatan Motor DC Untuk Nilai Kutub -20.0000

Real	Imajiner
-20.0000	20.0000
-20.0000	-20.0000

Diperoleh  $k_1=250.0000$  dan  $k_2=14.0000$

Nilai Kutub (p) : -25.0000



**Gambar-7** Hasil Simulasi Respon Waktu Sistem Lingkaran Tertutup Untuk Perubahan Kecepatan Motor DC Untuk Nilai Kutub -25.0000

**Tabel-4** Nilai Akar-Akar Karakteristik Sistem Lingkaran Tertutup Untuk Perubahan Kecepatan Motor DC Untuk Nilai Kutub -25.0000

Real	Imajiner
-25.0000	25.0000
-25.0000	-25.0000

Diperoleh  $k_1=425.0000$  dan  $k_2=19.0000$

Dari beberapa hasil simulasi menunjukkan bahwa secara umum respon waktu sistem lingkaran tertutup untuk perubahan kecepatan Motor DC sudah memenuhi spesifikasi perancangan dengan cara menggeser posisi kutub ke sebelah kiri sumbu khayal. Dengan menggeser posisi kutub sebelah kiri sumbu khayal maka respon waktu sistem lingkaran tertutup untuk perubahan kecepatan motor DC akan semakin stabil

**6. KESIMPULAN**

Dalam pengendalian perubahan kecepatan Motor DC, model sistem bersifat nonlinier. Untuk menganalisa pola tingkah laku disekitar titik operasi, salah satu model sistem adalah dengan dilinierisasi di titik operasi. Dari model sistem yang dilinierisasi tersebut diperoleh persamaan keadaan

untuk perubahan kecepatan Motor DC dan dapat digunakan metoda penempatan kutub, serta diupayakan suatu simulasi dengan variasi nilai kutub. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa semakin kecil nilai kutub maka sistem semakin bersifat stabil. Sesuai dengan spesifikasi perancangan akan terpenuhi jika nilai kutub harus kecil sama dengan 15. Untuk nilai kutub besar dari 15 spesifikasi perancangan tidak harus terpenuhi.

## 7. PUSTAKA

1. Richard Dorf dan Bishop Robert, “ *Modern Control System* “, Ninth Edition, Prentice Hall, New Jersey , 1995
2. Shahian Bahram dan Hassul Michael, “ *Control System Design Using Matlab* “, Prentice Hall, New Jersey , 1995
3. Kuo C Benyamin dan Hanselman C. Duane, “ *Matlab Tools For Control System And Design* “ , Prentice Hall, New Jersey , 1995
4. Ogata K, “*Modern Control System* “ , Third edition, Prentice Hall, New Jersey , 1995

## BIODATA

**Heru Dibyo Laksono ST, MT**, Lahir di Sawah Lunto, 7 Januari 1977, Menamatkan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas (Unand) Padang tahun 2000 bidang Teknik Tenaga Listrik. Pendidikan S2 bidang Teknik Kendali dan Sistem diselesaikan di Institute Teknologi Bandung (ITB) tahun 2004. Masuk sebagai dosen Teknik Elektro Universitas Andalas sejak tahun 2005.