

## MODELING PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC DENGAN SIMULINK

Oleh : I N Satya Kumara

Staf Pengajar Teknik Elektro Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran Bali

Email: [ins\\_kumara@yahoo.com](mailto:ins_kumara@yahoo.com)

### Intisari

Motor arus searah (motor dc), khususnya tipe penguatan terpisah, memiliki karakteristik pengaturan kecepatan yang sangat baik, karena flux-producing dan torque-producing components currents dalam keadaan independen satu sama lain. Hal ini terjadi karena konstruksi fisik motor dc dimana komponen arus yang menghasilkan torsi dan komponen arus yang menghasilkan flux sudah terdekopel secara alami. Dengan demikian pengaturan kecepatan motor bisa dilakukan dengan teknik pengaturan yang tidak rumit dan tidak memerlukan perangkat keras mahal. Pengaturan kecepatan motor dc bisa dilakukan dengan pengaturan arus jangkar atau arus medan secara bebas dan/atau simultan. Pemilihan variabel kontrol ini tergantung dari daerah operasi dari drive. Untuk pengaturan kecepatan dari diam sampai dengan kecepatan nominal dilakukan dengan pengaturan arus jangkar dimana arus medan dijaga konstan. Sedangkan untuk pengaturan kecepatan di atas kecepatan nominal dilakukan dengan memperkecil arus medan (field weakening). Dalam paper ini akan dibahas modeling pengaturan motor dc penguatan terpisah yang disimulasikan dengan Matlab Simulink.

**Kata kunci:** pengaturan kecepatan, motor dc, modeling, respon steady state dan transien

### 1. PENDAHULUAN

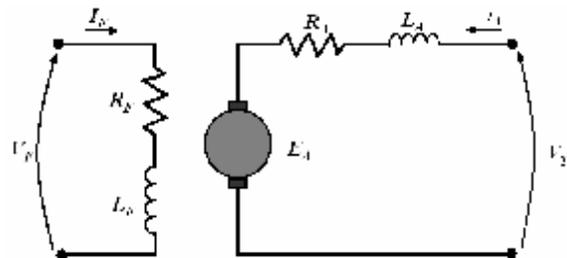
Motor arus searah (motor dc) merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling awal digunakan dalam industri dan ke depan mesin ini akan tetap digunakan karena karakteristik pengaturannya yang baik. Dalam motor dc, stator merupakan tempat kumparan medan (field winding) dan rotor merupakan tempat rangkaian jangkar (armature winding). Prinsip kerja dari motor dc adalah bahwa arah medan magnet rotor akan selalu berusaha untuk berada pada posisi yang berlawanan arah dengan arah medan magnet stator. Ini mengikuti sifat magnet bahwa jika magnet yang berlawanan arah didekatkan satu sama lain mereka akan saling tarik menarik dan sebaliknya, magnet yang searah akan saling tolak.

Dalam mesin dc, arah medan magnet stator adalah tetap, sehingga untuk menjaga kontinuitas momen putar rotor maka arah medan magnet rotor harus menyesuaikan/ dirubah. Untuk menciptakan efek perubahan arah medan rotor ini dilakukan dengan merubah arah aliran arus yang mengalir dalam rangkaian jangkar. Perubahan aliran arus rotor ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian jangkar dengan sumber tegangan luar melalui sikat (brush) yang dilengkapi dengan komutator. Cincin komutatsi ini berfungsi sebagai alat untuk menjaga agar posisi medan jangkar selalu optimum dalam menghasilkan momen putar. Dalam mesin dc, medan stator bisa dibangkitkan dengan magnet permanen atau elektromagnetis.

### 2. MODELING MOTOR DC

Model matematika dari sebuah mesin dc dapat dikembangkan dengan menggunakan pendekatan rangkaian ekuivalen. Dari rangkaian ekuivalen tersebut, dengan menggunakan hukum-hukum dasar rangkaian listrik serta prinsip-prinsip hubungan elektromekanik, persamaan matematika atau model dari mesin dapat diturunkan. Persamaan ini kemudian dapat digunakan untuk menganalisa kelakuan motor dan sekaligus merencanakan teknik pengaturannya. Rangkaian ekuivalen sebuah mesin dc dengan penguatan terpisah (separately excited) diperlihatkan seperti pada Gambar 1.

$I_F$ arus medan	$I_A$ arus jangkar
$V_F$ tegangan medan	$E_A$ back emf
$R_F$ resistansi medan	$V_T$ tegangan terminal
$L_F$ induktansi medan	$R_A$ resistansi jangkar



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen motor dc

Persamaan yang mengatur kelakuan mesin dc dapat dituliskan sebagai berikut. Untuk rangkaian

medan persamaan ditunjukkan dalam persamaan (1) sedangkan rangkaian jangkar dalam persamaan (2). Besaran-besaran yang ditulis dengan huruf kecil menandakan fungsi terhadap waktu.

$$v_F = R_F i_F + L_F \frac{di_F}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

$$v_T = R_A i_A + L_A \frac{di_A}{dt} + e_A \dots\dots\dots (2)$$

$$e_A = K i_F W \dots\dots\dots (3)$$

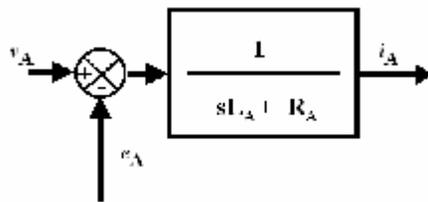
$$T_e = K i_F i_A \dots\dots\dots (4)$$

Hubungan elektromekanik dituliskan sebagai:

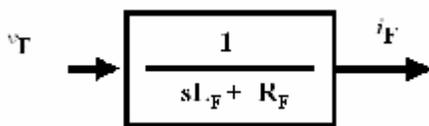
$$T_e = T_L + J \frac{dw}{dt} + B_m W \dots\dots\dots (5)$$

Dimana  $T_e$  dan  $T_L$  adalah torsi motor dan torsi beban.  $J$  adalah konstanta inersia dari drive dan  $W$  adalah kecepatan motor serta  $B_m$  adalah koefisien redaman dari sistem mekanis.

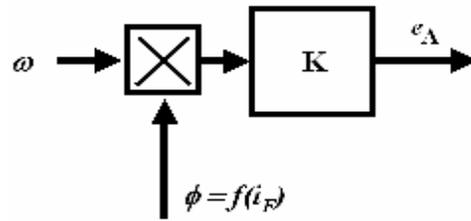
Modeling dari rangkaian jangkar, rangkaian medan, model elektromekanis, back emf dari mesin dc, dibangun dengan persamaan 1, 2, 3, 4 dan 5. Untuk keperluan simulasi dalam Matlab Simulink model-model tersebut dapat diimplementasikan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



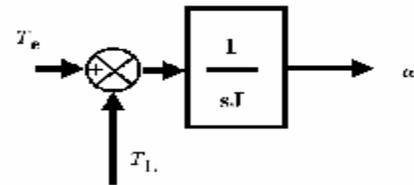
(a) rangkaian jangkar



(b) rangkaian medan



(c) back emf



(d) rangkaian elektromekanis

Gambar 2. Modeling mesin dc

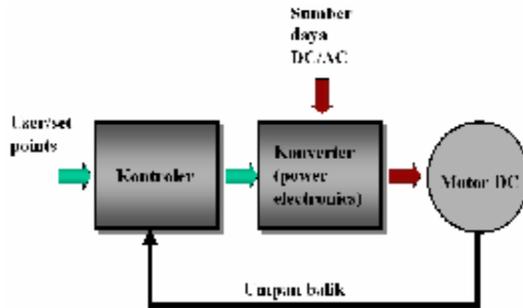
Konverter daya yang digunakan dalam simulasi ini dianggap konverter ideal yang mampu menghasilkan arus dan tegangan sesuai permintaan kedua pengatur, speed dan currents controllers.

### 3. TEKNIK PENGATURAN KECEPATAN

Salah satu teknik pengaturan kecepatan motor dc yang populer adalah pengaturan tegangan terminal. Pengaturan tegangan terminal ini dapat dilakukan baik pada terminal jangkar maupun terminal medan yang tergantung dari daerah operasi kerja dari motor. Teknik pengaturan tegangan terminal ini sangat disukai karena merupakan teknik kontrol yang efisien. Perkembangan teknologi semikonduktor daya dan mikroelektronika telah memungkinkan dikembangkannya konverter daya yang mampu menghasilkan daya sesuai dengan kebutuhan beban/motor secara cepat serta efisien dan dengan harga perangkat konverter yang ekonomis.

### 4. SISTEM PENGEMUDIAN MOTOR DC

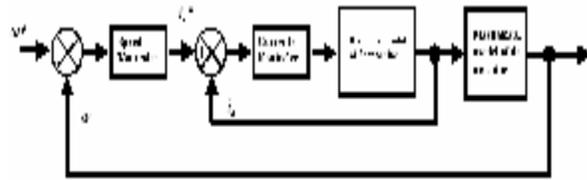
Skematik sebuah sistem pengemudian motor dc (electric dc drive) dengan konverter daya dapat dilihat pada Gambar 3. Disini motor disuplai dengan konverter daya terkontrol (variable dc power supply) untuk menghasilkan daya sesuai dengan kebutuhan motor. Konverter adalah konverter statis yang menggunakan saklar semikonduktor daya.



Gambar 3. Pengemudian motor dc

Kontroler bisa diwujudkan baik dengan sistem analog maupun digital. Dengan perkembangan mikroelektronika yang sedemikian pesat, sekarang ini, sistem pengaturan motor biasanya diimplementasikan dengan teknik digital atau yang lebih dikenal dengan digital motion control. Pemakaian teknik digital memerlukan perangkat keras yang digerakkan oleh mikrokontroler atau sistem perangkat keras berbasis prosesor digital. Bagian user/set point biasanya merupakan interface antara sistem dengan operator. Disini, operator dapat mengatur/merubah variabel/parameter dari sistem/drive sehingga tujuan/performance yang diinginkan bisa dicapai. Umpan balik diperlukan untuk pengaturan motor yang menuntut respon cepat serta presisi. Umpan balik yang diperlukan biasanya adalah arus motor dan kecepatan motor. Umpan balik memerlukan sensor yang dalam hal ini memerlukan sensor arus dan kecepatan.

Salah satu tahap dalam perencanaan sistem pengemudian listrik adalah mempelajari serta memprediksi unjuk kerja dari sistem yang akan didesain. Tujuan ini dapat dicapai dengan membuat model dari sistem dan kemudian mensimulasikannya. Dalam tulisan ini akan dikembangkan simulasi pengemudian motor dc untuk menganalisa kelakuan motor dc baik pada kondisi transien maupun steady state. Sekarang ini banyak perangkat lunak yang bisa digunakan untuk melakukan simulasi sistem-sistem elektromekanik baik yang sederhana maupun yang kompleks. Dalam tulisan ini akan digunakan Matlab Simulink untuk mensimulasikan sistem pengemudian motor dc. Sistem pengaturan motor dc ini dibangun dengan menggunakan model atau komponen yang sudah dikembangkan dalam bagian 2. Sistem pengaturan tersebut ditunjukkan dalam Gambar 4. Sistem pengaturan struktur kaskade ganda (cascaded structure) ini terdiri dari dua loop. Loop dalam (inner loop) merupakan loop pengaturan arus dan loop luar (outer loop) merupakan loop pengaturan kecepatan motor.



Gambar 4. Simulasi pengaturan motor dc

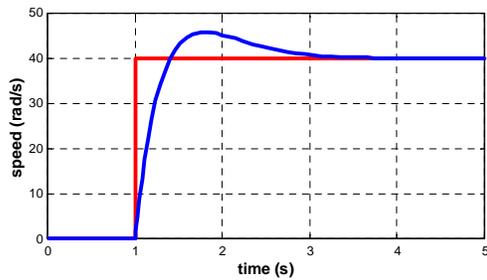
Blok kontroler dalam Gambar 4 di atas adalah speed controller dan currents controller yang bisa diimplementasikan dengan menggunakan teknik pengaturan konvensional pid (proportional, integral dan derivative) atau teknik lain seperti fuzzy, neural, genetic algorithms, variable structure control (VSC) atau sliding mode control. Dalam simulasi ini digunakan digital pid kontroler. Pemilihan konstanta kontroler atau tuning dilakukan dengan cara trial and error sampai diperoleh respon kecepatan yang optimal. Dalam simulasi ini, konverter daya yang digunakan dianggap ideal sehingga konverter akan mampu memenuhi permintaan kontroler akan daya yang diperlukan untuk menghasilkan respon yang diinginkan tanpa waktu tunda.

## 5. SIMULASI TRANSIEN DAN STEADY STATE

Motor yang digunakan dalam simulasi ini adalah motor dc penguatan terpisah dengan data sebagai berikut.

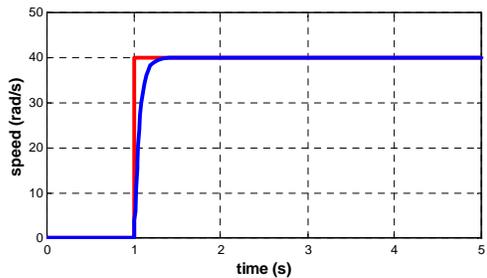
$$\begin{aligned} R_A &= 0.5 \text{ Ohm} & L_A &= 0.0005 \text{ H} \\ V_T &= 50 \text{ V} & J &= 0.5 \text{ Kg/m}^2 \\ K &= 0.2388 \text{ V/(A rad/s)} \end{aligned}$$

Parameter drive di atas kemudian dimasukkan ke dalam model Simulink yang telah dibuat seperti ditunjukkan dalam Gambar 4. Besaran-besaran yang diminati, seperti arus, tegangan dan kecepatan motor, dapat dimonitor melalui blok osiloskop atau dengan menyimpan hasil simulasi tersebut ke dalam worksheet dan kemudian di-plot dalam bentuk grafik fungsi waktu. Simulasi drive dalam keadaan transien dan mantap dari sistem di atas dapat dilihat dalam gambar-gambar berikut. Gambar 5 menunjukkan respon drive pada saat diberikan step speed demand sebesar 40 rad/s dari keadaan diam yang diberikan pada saat  $t=1$  detik. Pada simulasi ini motor tidak dalam keadaan berbeban.



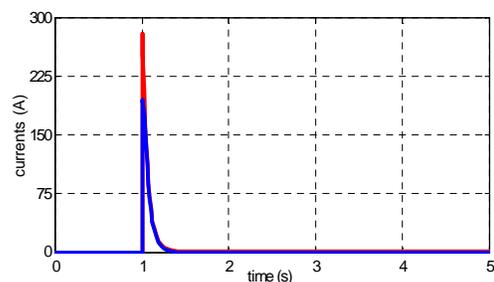
Gambar 5. Respon transien motor diasut dari diam

Respon di atas menunjukkan sedikit overshoot yang mengindikasikan bahwa parameter kontroler masih bisa di-tuning untuk mendapatkan respon yang sedikit lebih baik (underdamped). Respon yang lebih dicapai setelah re-tuning dan hasilnya seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Respon sistem setelah retuning

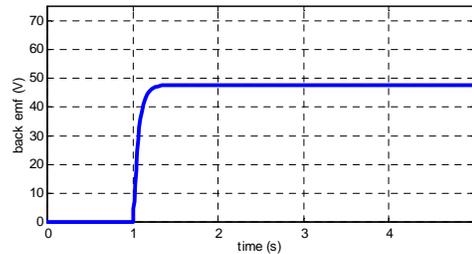
Respon arus jangkar dapat diperlihatkan pada Gambar 7. Disini terlihat arus yang sangat besar ditarik oleh motor pada saat starting,  $t=1$ , dan kemudian segera turun mendekati nol setelah motor mencapai kecepatan yang diinginkan. Arus steady state sangat kecil atau hampir mendekati nol karena motor tidak dalam keadaan berbeban.



Gambar 7. Respon arus motor

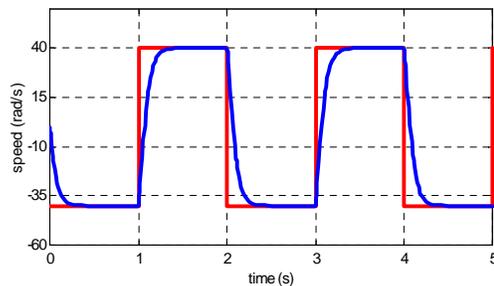
Status dari ggl balik (back emf) selama simulasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. Terlihat disini bahwa  $e_A$  sama dengan nol pada saat awal ( $t < 1$ ) dan kemudian secara cepat, seiring dengan kecepatan motor yang meningkat, naik dan akhirnya mendekati

magnitudo tegangan terminal jangkar minus tegangan jatuh pada tahanan jangkar.



Gambar 8. Back emf dalam motor

Gambar 9 menunjukkan respon motor pada saat diberikan step speed demands bolak-balik. Pada simulasi ini motor dikontrol untuk berputar maju (clockwise) dan mundur berganti arah (anti clockwise) setiap 2 detik. Dapat dilihat bahwa kecepatan motor mengikuti kecepatan referen dengan baik. Terlihat ada sedikit perbedaan antara kecepatan referen dengan kecepatan sebenarnya dari motor. Hal ini bisa diperkecil dengan memilih parameter dari pid controller sedemikian hingga respon yang dihasilkan akan optimum.



Gambar 9. Respon motor thdp. +/- step demands

## 6. KESIMPULAN

Untuk memahami kelakuan suatu sistem pengendalian listrik dapat dilakukan dengan melakukan simulasi. Dalam tulisan ini simulasi sistem pengendalian motor dc dengan Matlab Simulink sudah ditunjukkan.

Model sistem pengaturan motor dc yang digunakan dalam simulasi ini dibangun dengan mengembangkan persamaan-persamaan dasar dan hubungan elektromekanis yang mengatur kelakuan motor. Persamaan-persamaan tersebut diturunkan dari rangkaian ekuivalen mesin dengan menggunakan hukum-hukum dasar rangkaian listrik. Dari persamaan-persamaan ini kemudian dibentuk blok-

blok Simulink sebagai representasi dari komponen sistem pengemudian motor dc seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Berbagai hasil simulasi untuk menganalisa operasi pengemudian motor dc sudah ditunjukkan. Model yang telah dikembangkan dalam tulisan ini bisa digunakan untuk mempelajari kelakuan motor dc yang lain. Hal ini dilakukan dengan mengganti variabel/parameter yang ditunjukkan dalam bagian 5 dengan parameter dari motor yang akan dipelajari.

Model sistem pengaturan yang sudah dikembangkan ini bisa digunakan untuk mempelajari penggunaan teknik-teknik pengaturan yang lain dalam sistem pengemudian motor dc. Untuk melakukan ini blok pid kontroler yang digunakan dalam sistem di atas diganti dengan blok teknik pengaturan yang lain sehingga akan diperoleh sistem pengaturan motor dc dengan teknik tertentu. Teknik-teknik yang bisa digunakan antara lain pemakaian fuzzy logic, neural networks, algoritma genetik, model reference adaptive, sliding control atau teknik kontrol yang lain.

## 7. REFERENSI

- [1]. Ogata, K., Discrete Time Control Systems, Prentice Hall, 1987, USA
- [2]. D'Azzo, J.J., Feedback Control System Analysis and Synthesis, Second Edition, International Student Edition, 1966, McGraw-Hill Kogakusha Ltd
- [3]. Chapman, S.J., Electric Machinery Fundamentals, Second Edition, McGraw-Hill, Singapore, 1991