

# SIMULASI KARAKTERISTIK ARUS DAN KECEPATAN MOTOR DC TERHADAP MASUKAN PENYEARAH GELOMBANG PENUH DI SIMULINK-MATLAB

Vicky Salamena<sup>\*)</sup>

## Abstract

Aims the paper provide current and angle speed characteristic of dc motor sience supply of alternating current (ac) power suplay use Simulink-MATLAB. Mathematic model of parameters motor dc has appliances in laplace form is used for transfer functin input and output variables. AC voltage source is converted to direct current (dc) voltage by full bridge rectifying diodes. Ouput of rectifier is positive value for a periode with used freewheeling diode in inductive loads. The motor model be represent by controller blocks in simulink toolbox at matlab program and give the sine source in series at absolute block. Result of research is curves characteristic of armature current and speed of saft motor. This curves show transient and steady-state condition, periode of transient about 1.5 second and transient is uderdamped. Fluence of ac supply is built ripple on current armature and speed of saft.

**Keywords:** *current armature, speed of saft, full bridge diode rectifier,*

## I. PENDAHULUAN

Motor dc telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi industri, digunakan sebagai penggerak pada mesin-mesin produksi atau alat angkat. Selain itu juga digunakan pada peralatan portabel seperti mesin printer dan lain-lain. Sebagai masukan untuk motor dc adalah daya listrik yakni tegangan dan arus listrik kemudian keluaran dari motor adalah daya mekanik yaitu torsi dan kecepatan rotor. Dalam pengendalian motor dc perlu diketahui karakteristik dari variabel-variabel tadi sebagai fungsi waktu pada kondisi transien dan kondisi tunaknya. Selain itu juga kebanyakan motor dc disuplai oleh sumber jala-jala ac melalui sistem penyearah. Ada beberapa penyearah tetapi yang banyak digunakan adalah penyearah dioda sistem jembatan yang disebut penyearah jembatan gelombang penuh. Karakteristik penyearah mempengaruhi tegangan masukan motor dc sehingga juga mempengaruhi bentuk gelombang arus yang ditarik oleh motor dc, demikian juga mempengaruhi torsi dan kecepatan rotor. Untuk mengetahui hubungan dari variabel-variabel ini perlu dianalisis hubungan antar variabel dengan memodelkan parameter-parameter motor seperti resistans dan induktans belitan serta inersia dan gesekan yang semuanya bergantung pada dimensi motor dan beban. Penelitian ini mengkaji hubungan antara variabel input-output motor dc yang disuplai dengan penyearah gelombang penuh dengan mengacu pada karakteristik

parameter motor dc dengan bantuan program Matlab dengan *toolbox*-nya Simulink. Hubungan input-output dari kondisi fisik motor dc dimodelkan dalam pernyataan matematik fungsi waktu, kemudian ditransformasikan ke domain frekuensi atau bentuk laplace sehingga dapat dinyatakan dalam blok-blok fungsional sistem kendali. Program Simulink dapat menampilkan blok-blok fungsional yang berisi fungsi alih hubungan parameter-parameter motor dc dengan blok-blok lain dalam suatu rangkaian blok kendali yang menghubungkan input dan output sistem yang ditinjau. Hasil yang dapat diamati adalah tampilan kurva yang menampilkan kondisi transien dan tunak dari arus yang ditarik oleh motor dc dan keluaran motor dc seperti kecepatan rotor untuk parameter tertentu dari motor dc.

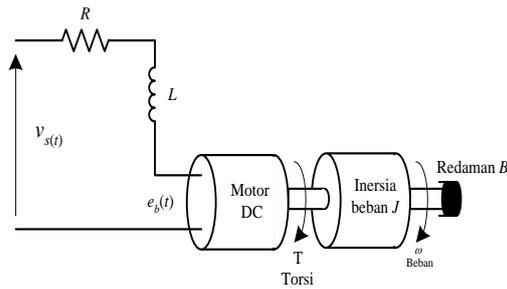
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Model Motor DC

Motor dc dapat dimodelkan dengan kombinasi struktur listrik dan struktur mekanik. Struktur listrik adalah model rangkaian listrik dari belitan armatur yaitu tahanan yang terhubung seri dengan impedans belitan armatur. Sruktur mekanik adalah momen inersia di rotor dan beban serta gesekan yang terjadi karena ada pergerakan mekanik. Rangkaian skematik untuk model motor dc ditunjukkan oleh Gambar 1 [1].

---

<sup>\*)</sup> *Vicky Salamena; Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon*



Gambar 1 Model motor dc

Dari rangkaian listrik dapat dibuat persamaan tegangan menurut hukum Kirchhoff tegangan seperti dinyatakan oleh persamaan (1).

$$v_s(t) = Ri_a(t) + L \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad (1)$$

dengan

- $R$  : tahanan belitan armatur ( $\Omega$ ),
- $L$  : impedans belitan armatur (H),
- $i_a(t)$  : arus armatur (A),
- $e_b(t)$  : tegangan induksi di armatur (V),
- $v_s(t)$  : tegangan terminal motor (V).

$e_b(t)$  adalah tegangan induksi yang tergantung pada putaran sudut  $\omega(t)$ , dinyatakan oleh persamaan (2) [4].

$$e_b(t) = k_1 \phi \frac{60}{2\pi} \omega(t) \quad (2)$$

dengan

- $k_1$  : konstanta dimensi motor,
- $\phi$  : fluks magnet kutub motor (Wb),
- $\frac{60}{2\pi} \omega(t)$  : putaran rotor (rpm),
- $\omega(t)$  : kecepatan sudut rotor (rad/s).

Bila kutub motor adalah magnet permanen maka  $\phi$  konstan sehingga persamaan (2) dapat disusun kembali menjadi persamaan (3), dengan GGL lawan (*Back EMF*) sebanding dengan putaran [4].

$$e_b(t) = K\omega(t) \quad (3)$$

untuk konstanta armatur  $K = k_1 \phi \frac{60}{2\pi}$ . Dengan mensubstitusikan persamaan (3) ke (1) diperoleh persamaan (4) sebagai berikut,

$$v_s(t) = Ri_a(t) + L \frac{di_a(t)}{dt} + K\omega(t) \quad (4)$$

Untuk struktur mekanik yang mengacu pada hukum Newton, diperoleh persamaan torsi seperti persamaan (5),

$$\tau(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) = K i_a(t) \quad (5)$$

dengan:

- $J$  : momen inersia motor (kg.m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>),
- $B$  : konstanta redaman sistem mekanis (Nms),

Persamaan (4) dan (5) ditransformasikan dalam bentuk laplace dengan asumsi semua kondisi awal sama dengan nol [6], diperoleh,

$$V_s(s) = (R + sL)I_a(s) + K\omega(s) \quad (6)$$

Sehingga diperoleh  $I_a(s)$  sebagai berikut,

$$I_a(s) = \frac{V_s(s) - K\omega(s)}{R + sL} \quad (7)$$

Dan

$$T(s) = (B + sJ)\omega(s) = K I_a(s) \quad (8)$$

Dari persamaan (8) diperoleh kecepatan sudut  $\omega(s)$  sebagai berikut,

$$\omega(s) = \frac{K I_a(s)}{(B + sJ)} \quad (9)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan persamaan (9) ke (7) diperoleh fungsi alih antara masukan tegangan  $V_s(s)$  dan keluaran arus armatur  $I_a(s)$  sebagai berikut,

$$\frac{I_a(s)}{V_s(s)} = \frac{Js + B}{(Js + B)(Ls + R) + K^2}$$

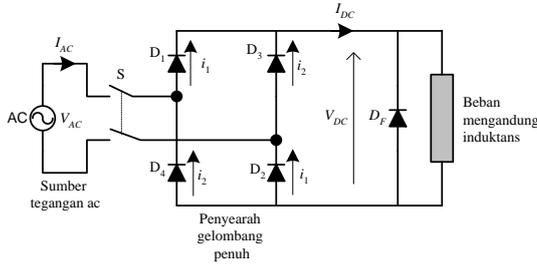
atau

$$\frac{I_a(s)}{V_s(s)} = \frac{Js + B}{JLs^2 + (BL + JR)s + BR + K^2} \quad (10)$$

## 2.2. Penyearah Gelombang Penuh

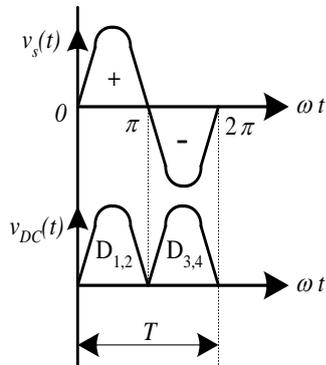
Penyearah satu fasa adalah rangkaian dioda yang menyearahkan sumber tegangan ac satu fasa menjadi tegangan dc. Ada beberapa penyearah satu fasa, tetapi yang sering digunakan adalah penyearah gelombang penuh sistem jembatan. Penyearah jembatan ini mempunyai keluaran dc yang cukup baik sehingga memperkecil harmonisa dan

menghasilkan nilai tegangan rata-rata yang maksimal. Rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa ditunjukkan oleh Gambar 2 [3].



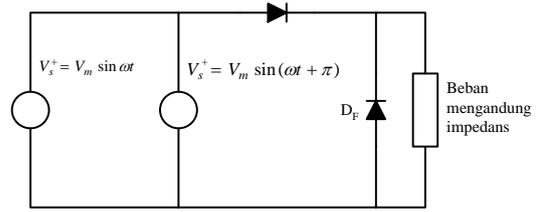
Gambar 2 Penyearah Gelombang penuh

Penyearah gelombang penuh dapat disusun oleh empat buah dioda yang terhubung sebagai jembatan. Bila diberikan input tegangan jala-jala  $v_s(t) = V_m \sin \omega t$  maka setengah periode yaitu gelombang positif ( $0 \leq \omega t \leq \pi$ ) tegangan akan diberikan ke beban oleh pasangan dioda  $D_1$  dan  $D_2$ , selanjutnya untuk setengah periode gelombang negatif ( $\pi \leq \omega t \leq 2\pi$ ) tegangan diberikan oleh pasangan dioda  $D_3$  dan  $D_4$ . Bentuk tegangan keluaran akibat input tegangan sinusoida ditunjukkan oleh Gambar 3 [7].



Gambar 3 Kurva tegangan output penyearah

Perilaku dari pasangan dioda  $D_{1,2}$  dan  $D_{3,4}$  yang diterima oleh beban dapat dinyatakan sebagai dua sumber berbeda fasa sebesar  $\pi$  radian ( $180^\circ$  listrik) dengan hanya ada untuk nilai positif. Hal ini dapat dicapai dengan menambahkan diode *freewheeling* ( $D_F$ ) yang parallel untuk beban yang mengandung induktif. Kedua sumber ini dapat diilustrasikan seperti Gambar 4 [3].

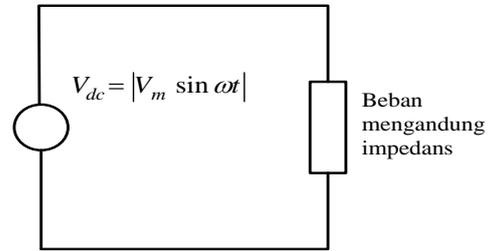


Gambar 4 Ekuivalen dua sumber output penyearah

atau merupakan nilai absolut dari tegangan sumber yang ditulis sebagai berikut,

$$v_s(t) = |V_m \sin \omega t| \quad (11)$$

sehingga sumber tegangan hasil penyearahan dapat disederhanakan menjadi Gambar 5.



Gambar 5 Ekuivalen dengan nilai absolut tegangan ac

### 2.3. Kecepatan Poros Motor

Dengan mensubtitusi persamaan (7) ke persamaan (8), diperoleh bentuk,

$$(B + sJ)\omega(s) = K \frac{V_s(s) - K\omega(s)}{R + sL} \quad (12)$$

Dari bentuk persamaan (11) diperoleh fungsi alih motor dc untuk masukan tegangan terminal motor  $V_s(s)$  dan keluaran kecepatan poros motor sebagai berikut,

$$\frac{\omega(s)}{V_s(s)} = \frac{K}{(B + sJ)(R + sL) + K^2} \quad (13)$$

selanjutnya  $\omega(t) = d\theta / dt = \dot{\theta}$ , sehingga diperoleh kembali,

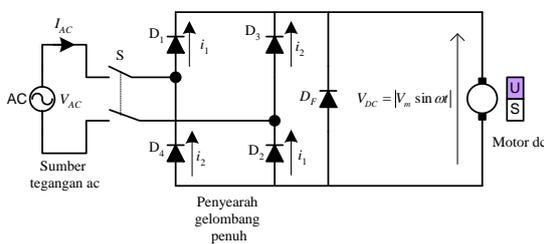
$$\frac{\dot{\theta}(s)}{V_s(s)} = \frac{K}{(B + sJ)(R + sL) + K^2} \quad (14-a)$$

atau dinyatakan dalam polinomial pangkat sebagai berikut,

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{V_s(s)} = \frac{K}{LJs^2 + (BL + RJ)s + BR + K^2} \quad (14-b)$$

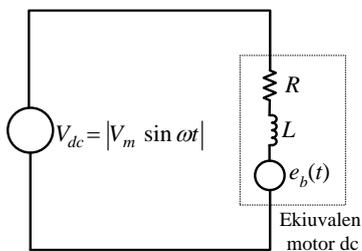
### III. PEMBAHASAN

Bagan pengujian karakteristik motor dc ditunjukkan oleh Gambar 6. Motor dc dihubungkan dengan tegangan sumber ac yang telah disearahkan oleh penyearah dioda gelombang penuh. Karena motor dc mengandung beban induktif maka arus akan tertinggal dari tegangan sehingga pada waktu tegangan telah menuju setengah perioda negatif arus masih tetap mengalir yang membuat dioda tetap konduksi dan menyalurkan tegangan negatif ke motor, hal ini akan membahayakan motor. Untuk mencegah hal ini dipasang dioda *freewheeling* yang mencegah pembalikan polaritas sumber terhadap motor dc.



Gambar 6 Bagan pengujian motor dc

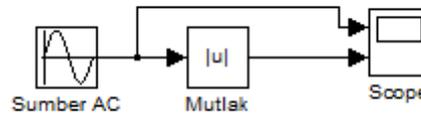
Dari bagan pengujian Gambar 6 dapat dibuat rangkaian ekuivalen pengujian yang terdiri dari dua bagian yaitu ekuivalen sumber tegangan dc seperti Gambar 5 dan ekuivalen rangkaian motor dc, rangkaian ekuivalen pengujian dinyatakan seperti Gambar 7.



Gambar 7 Rangkaian ekuivalen pengujian motor dc

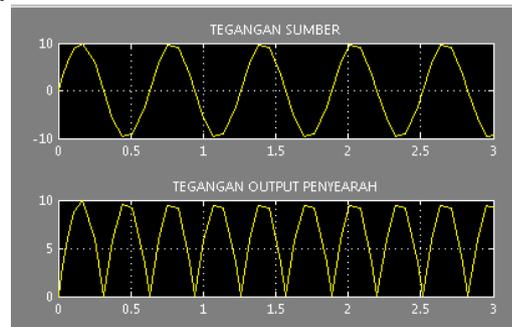
Selanjutnya perangkat lunak Matlab dan *toolbox*-nya *Simulink* merupakan program yang handal dalam persoalan keteknikan, terutama untuk mengeksekusi model matematika dari persoalan teknik menjadi tampilan grafis yaitu kurva-kurva tertentu yang mewakili perilaku sistem baik perioda transien maupun tunak seperti mesin-mesin listrik [8]. *Simulink* yang dapat mengakses model matematika dalam rangkaian blok-blok kendali yang disusun untuk mengamati tanggapan suatu sistem terhadap masukannya. Sumber tegangan dc yang ada pada Gambar 7 dapat

dibuat dengan *toolbox* sumber gelombang sinusoida yang telah tersedia sebagai fitur program *simulink* yang diserikan dengan blok harga mutlak seperti ditunjukkan seperti Gambar 8.



Gambar 8 Model sumber dc di program simulink

Hasil penyearahan tegangan sinusoida pada program *simulink* seperti menggunakan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan dioda *freewheeling* ditunjukkan oleh grafik Gambar 9.



Gambar 9 Keluaran tegangan searah di program simulink

Terlihat bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan oleh program *simulink* merupakan pulsa-pulsa positif dari gelombang sinusoida, gelombang tegangan dc ini yang diumpungkan ke blok rangkaian ekuivalen motor dc.

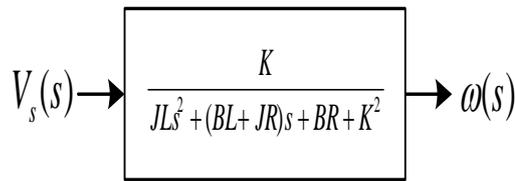
Untuk mengamati perilaku arus listrik yang ditarik oleh motor dc, dibuat fungsi alih terhadap rangkaian ekuivalen motor dc pada Gambar 7, kemudian sebagai masukan adalah tegangan dc dan keluaran adalah arus armatur motor dc yang berpedoman pada hubungan fisik sesuai persamaan (10). Blok fungsi alih motor dc dapat ditunjukkan seperti Gambar 10.

$$V_s(s) \rightarrow \frac{Js + B}{JLs^2 + (BL + JR)s + BR + K^2} \rightarrow I_a(s)$$

Gambar 10 Blok fungsi alih motor dc antara tegangan dan arus

Selanjutnya untuk mendapatkan keluaran kecepatan poros dibuat blok fungsi

transfer yang berpedoman pada persamaan (13), dengan blok fungsi alih seperti Gambar 11.



Gambar 11 Blok fungsi alih motor dc antara tegangan dan kecepatan

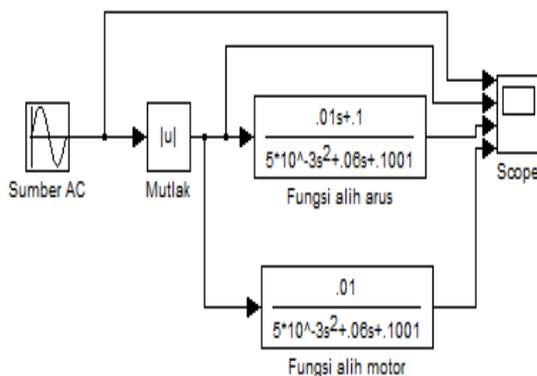
Untuk mendapatkan karakteristik keluaran arus dan kecepatan akibat masukan tegangan penyearah gelombang penuh di model simulasi pada program simulink dimasukkan data-data fisik motor dc sesuai ditunjukkan oleh Tabel 1, dengan tegangan ac  $V_{AC} = 10 \sin \omega t$ , 10 Hz.

Tabel 1 Data motor dc

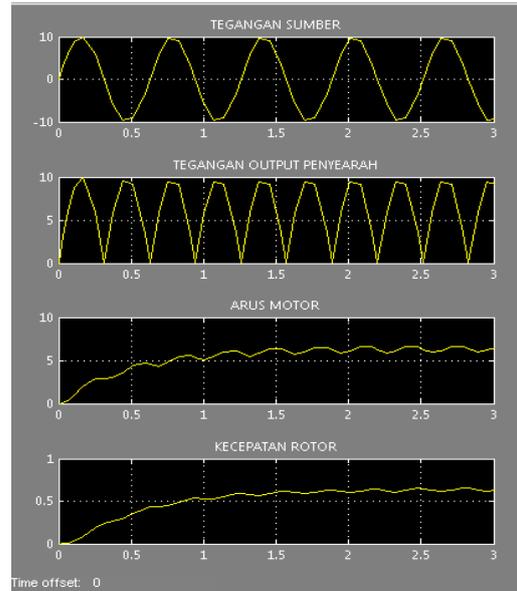
Momen inersia, $J$	0,01 kg.m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Redaman sistem mekanik, $B$	0,1 Nms
Konstanta motor, $K$	0,01 Nm/A
Resistans, $R$	1 ohm
Induktans, $L$	0,5 H

Sumber: matlab kontrol jurnal

Setelah memasukan data motor dc pada blok Gambar 10 dan Gambar 11 kemudian dirangkai dengan sumber tegangan penyearah Gambar 8 maka diperoleh model simulasi yang dirangkai pada program simulink seperti ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 12 Model simulasi motor dc di program simulink



Gambar 13 Hasil simulasi motor dc

Hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 13. Pada gambar tersebut terlihat kurva tegangan ac, kurva tegangan dc (hasil penyearahan), kurva arus armatur dan kecepatan poros rotor motor dc yang semuanya fungsi waktu. Selanjutnya dengan masukan tegangan sinusoida menghasilkan tegangan keluaran penyearah dengan nilai sinusoida bernilai positif dalam satu periode frekuensi jala-jala. Pada simulasi tegangan maksimum ac 10V dan frekuensi 10Hz.

Hasilnya arus meningkat secara teredam sehingga tidak ada overshoot pada periode transien dan mencapai keadaan tunak (*steady-state*) pada  $t = \pm 1,5$  detik untuk nilai tunaknya berkisar 5A. Demikian juga dengan kecepatan rotor mempunyai waktu transien yang sama dengan arus dan mencapai keadaan tunak pada nilai 0,5 dari nilai satuan.

Karakteristik arus dan kecepatan motor dc dapat ditampilkan oleh program simulink di matlab secara lengkap dari proses transien sampai pada kondisi tunak. Pengaruh dari masukan tegangan sinusoida adalah terjadi ripple arus dan kecepatan yang seirama dengan frekuensi tegangan sumber. Bentuk ripple arus tergantung pada nilai induktans  $L$  belitan motor karena arus akan tertinggal dari tegangan untuk muatan induktif, dengan nilai  $L$  yang sesuai akan memperkecil ripple arus. Demikian juga untuk ripple kecepatan, dapat dibuat semakin halus dengan mengatur inersia  $J$  pada beban yang berperilaku seperti roda gila pada perangkat/mesin rotasi.

#### IV. KESIMPULAN

1. Hasil simulasi dengan program simulink matlab dapat menampilkan kurva karakteristik arus dan kecepatan yang memperlihatkan perioda transien dan keadaan tunak.
2. Pengaruh dari sumber sinusoida (tegangan jala-jala) yang disearahkan masih berpengaruh terhadap ripel dari arus yang ditarik oleh motor dc dari sumber dan kecepatan rotor
3. Untuk masukan tegangan sinusoidal yang telah disearahkan dan spesifikasi fisik motor maka, arus dan kecepatan motor meningkat secara teredam sehingga tak ada overshoot dan mencapai keadaan tunak pada  $t = \pm 1,5$  detik .

#### V. DAFTAR PUSTAKA

1. Fallahi M. and Azadi S., 2009, **Robust Control of DC Motor Using Fuzzy SlidingMode Control with PID Compensator**, Procceding of the International MultiConference of Engineers and computer Scientists 2009 Vol. II IMECS 2009, March 18-20, 2009, Hong Kong
2. Hartanto T. W D. dan Prasetyo Y. W. A., 2003, **Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan Matlab**, Penerbit Andi, Yogyakarta
3. Lander C. W., 1993, **Power Electronics**, Third Edition, McGraw-Hill, Singapore
4. Leephakpreeda T., 2008, **Model-based Analysis for Experimental Parameter Identification of Micro DC Motor**, Thamnasat Int. J. Sc. Tech., Vol. 13, No. 1, January-March 2008
5. Pakpahan S., 1994, **Kontrol Otomatik (Teori dan Penerapan)**, Penerbit Erlangga, Jakarta
6. Prayudi, 2006, **Matematika Teknik (Persamaan Diferensial, Transformasi Laplace dan Deret Fourier)**, Graha Ilmu, Yogyakarta
7. Rashid M. H., 1993, **Elektronika Daya (Rangkaian, Devais dan Aplikasinya)**, Edisi Kedua, PT Prenhalindo, Jakarta
8. Saffet A. and Gultekin K., 2007, **DC Motor Speed Control Methods Using MATLAB/Simulink and Their Integration into Undergraduate Electric Machinery Courses**, Departement of Electrical and Electronics Engineering, Nigde University 51100, Turkey