

# Simulasi Karakteristik Transien Motor Induksi Tiga Fase Menggunakan Aplikasi MOTORSIM © Dan Simulink

*By* MUCHLAS

# Simulasi Karakteristik Transien Motor Induksi Tiga Fase Menggunakan Aplikasi MOTORSIM<sup>®</sup> Dan Simulink

9 Muchlas

Universitas Ahmad Dahlan

Jalan Kapas Nomor 9, Yogyakarta, Indonesia

\*Correspondence should be addressed to [muchlas.te@uad.ac.id](mailto:muchlas.te@uad.ac.id)

## Abstrak

Karakteristik transien mesin listrik telah banyak disimulasikan menggunakan berbagai teknik, namun sebagian besar dari teknik-teknik tersebut masih belum dilengkapi dengan antarmuka yang memberikan kemudahan bagi penggunaannya. Penelitian ini ditujukan untuk menghasilkan simulator MOTORSIM<sup>®</sup> yang mudah dioperasikan dan dapat digunakan untuk menampilkan karakteristik transien motor induksi tiga fase. Prosedur pengembangan MOTORSIM<sup>®</sup> pada penelitian ini meliputi: analisis kebutuhan, eksplorasi referensi, penentuan model persamaan diferensial motor induksi, penentuan spesifikasi, perancangan antarmuka dan komputasi, serta pengujian aplikasi. Validitas hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan parameter karakteristik hasil simulasi MOTORSIM<sup>®</sup> dengan hasil simulasi menggunakan SIMULINK. Fungsionalitas dari panel-panel simulator diuji menggunakan *black box testing* oleh tiga orang yang dipandang independen dan memiliki kompetensi dalam bidang teknik elektro dan rekayasa perangkat lunak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulator MOTORSIM<sup>®</sup> yang dikembangkan dapat menampilkan karakteristik motor induksi tiga fase sesuai dengan hasil simulasi SIMULINK, dan semua panel yang tersedia dapat berfungsi dengan baik.

**Kata kunci:** simulasi, karakteristik transien, motor induksi tiga fase, aplikasi MOTORSIM<sup>®</sup>

## 1. Pendahuluan

3 Motor induksi atau disebut juga motor AC merupakan salah satu mesin listrik yang saat ini banyak digunakan oleh kalangan industri. Penggunaannya semakin luas karena untuk daya yang setara dengan motor DC, mesin ini memiliki keunggulan selain harganya lebih murah, juga kuat konstruksinya [1], sehingga disebut sebagai kuda penarik (*workhorse*) dalam bidang industri [2].

Dalam bidang pendidikan, praktik materi motor induksi di dalam laboratorium umumnya ditujukan untuk memberikan pemahaman kepada mahasiswa tentang karakteristik dan unjuk kerja mesin tersebut serta cara pengendaliannya dalam berbagai aplikasi industri. Kegiatan praktik motor induksi ini sangat penting bagi mahasiswa teknik, mengingat aktivitas ini dapat memberikan penguatan pada aspek psikomotorik.

Namun, kegiatan praktik motor induksi menggunakan laboratorium real banyak menemui kesulitan terutama jika dihadapkan pada tujuan praktik yang terkait dengan karakterisasi dan unjuk kerja motor induksi dengan daya tinggi. Untuk menyelenggarakan praktik dengan tujuan tersebut, harus disediakan motor induksi dengan daya besar

dan instrumen-instrumen pendukungnya seperti *digital storage oscilloscope* yang tentu memerlukan biaya besar dalam pengadaannya. Selain itu, operasi motor induksi dengan daya besar juga menimbulkan efek kedip, yakni menurunnya tegangan jaringan listrik saat motor induksi melakukan *start up*, sehingga dapat mengganggu operasi-operasi peralatan listrik yang menggunakan jaringan *power line* yang sama. Pada sisi lain, praktik dengan percobaan *direct-online-supplied* tersebut juga dapat membahayakan motor itu sendiri karena saat *start up* motor akan menarik arus sebesar enam sampai dengan delapan kali arus nominal, sehingga dapat merusak kumparan motor jika sering dioperasikan dengan mode seperti ini.

Untuk itu perlu dirancang suatu simulator yang dapat menggantikan praktik real dengan simulasi. Saat ini memang telah tersedia piranti yang dapat digunakan untuk melayani simulasi karakteristik motor induksi yakni SIMULINK yang dibuat oleh perusahaan The MathWorks, Inc. Namun, piranti tersebut hanya menyediakan *Graphical User Interface (GUI)* standar yang belum sesuai dengan kebutuhan spesifik dari suatu proses pembelajaran praktik motor induksi yang memadai. Terlebih lagi untuk materi pembelajaran aplikasi-aplikasi

pengendalian seperti *soft-starter* dengan berbagai parameter *starting time*, piranti tersebut belum menyediakannya. Memang, selain SIMULINK, saat ini telah dikembangkan pula piranti simulasi karakteristik motor induksi seperti dilakukan oleh Renukadevi & Rajambal [3], Arabaci & Bilgin [4], Shah, Rashid & Bhatti [5], Boora, Agarwal & Sandhu [6], Nithin, Jos & Rafeek [7], Kamal & Giri [8], Leedy [9], dan Rafeek, et al [10], namun GUI yang disediakan pada penelitian-penelitian tersebut masih belum bersifat *user friendly*, sehingga dapat mengakibatkan dosen dan mahasiswa mengalami kesulitan dalam melakukan simulasi.

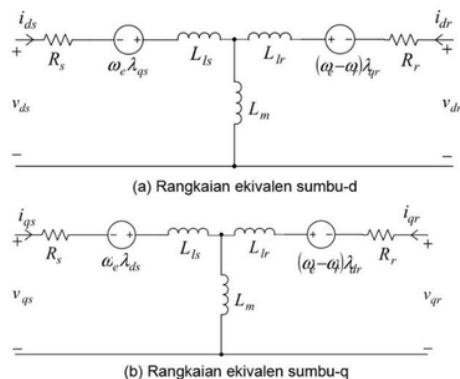
Atas dasar kenyataan-kenyataan yang telah dikemukakan di atas, perlu dilakukan pengembangan simulator yang dapat digunakan sebagai sarana alternatif pembelajaran praktik secara simulatif dengan topik karakteristik motor induksi tiga fase.

## 2. Landasan Teori

Untuk membangun simulator motor induksi tiga fase, penelitian ini menggunakan dua hal pokok yang melandasinya, yakni model mesin dan teknik komputasi simulasi.

### A. Model Dinamis Motor Induksi Tiga fase

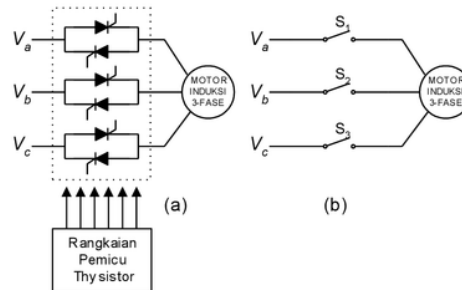
Penurunan formula karakteristik dinamis motor induksi tiga fase dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai model yang telah dikembangkan oleh para peneliti sebelumnya. Model yang banyak digunakan untuk menganalisis karakteristik dinamis dari mesin fase banyak adalah model kerangka referensi dq (*direct-quadrature*). Merujuk pada Leedy [9], rangkaian ekuivalen motor induksi 3-fase dalam model dq ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Model d-q motor induksi 3-fase

Keterangan untuk gambar 1 di atas adalah d adalah menunjukkan *direct axis* (sumbu-d), q dinamakan *quadrature axis* (sumbu-q),  $v_{ds}$  tegangan stator sumbu-d,  $v_{qs}$  tegangan stator sumbu-q,  $v_{dr}$  tegangan rotor sumbu-d,  $v_{qr}$  tegangan rotor sumbu-q,  $i_{ds}$  arus stator sumbu-d,  $i_{qs}$  arus stator sumbu-q,  $i_{dr}$  arus rotor sumbu-d,  $i_{qr}$  arus rotor sumbu-q,  $\omega_e$  kecepatan anguler kerangka referensi,  $\omega_r$  kecepatan anguler rotor, dan  $\lambda_{ds}$ ,  $\lambda_{ds}$ ,  $\lambda_{ds}$  dan  $\lambda_{ds}$  adalah fluks belitan pada motor. Keterangan lainnya  $R_s$ , dan  $L_s$  menunjukkan resistansi dan induktansi *linkage* pada belitan stator, sedangkan  $R_r$ , dan  $L_r$  merepresentasikan resistansi dan induktansi *linkage* pada belitan rotor. Notasi  $L_m$  digunakan untuk menunjukkan induktansi mutual antara belitan stator dan rotor.

Kajian ini akan menggunakan model yang disarankan oleh Chattopadhyay & Rao [11] dengan menggunakan rangkaian ekuivalen model dq seperti pada gambar 1. Dalam model ini motor induksi dicatu melalui rangkaian *thyristor* yang disusun dalam konfigurasi *back-to-back* pada setiap fase tegangan stator seperti ditunjukkan pada gambar 2 (a), dan rangkaian ekuivalen saklar seperti diilustrasikan pada gambar 2 (b). Notasi pada gambar tersebut  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  berurutan menunjukkan tegangan fase-a, fase-b dan fase-c terhadap titik netral dari *supply*.



Gambar 2. Pengendali tegangan motor induksi 3-fase: (a) konfigurasi *back to back thyristor*, (b) rangkaian ekuivalen saklar

Selanjutnya, jika semua saklar pada rangkaian ekuivalen tertutup (ON), maka operasi motor sama seperti diberi catu langsung (*direct-online-supplied*), sehingga berlaku persamaan diferensial pada persamaan (1).

$$\frac{p}{\omega_b} \bar{i} = \bar{X}^{-1} \bar{v} - \bar{R} \bar{i} \quad (1)$$

Pada persamaan (1),  $p$  menyatakan operator diferensial ( $d/dt$ ),  $\omega_b$  kecepatan angular basis yang digunakan untuk menentukan parameter-parameter motor dalam satuan pu (per unit). Selanjutnya, matriks invers  $X$  diberikan oleh persamaan (2), yakni,

$$\bar{X}^{-1} = \frac{1}{X_s X_r - X_m^2} \begin{bmatrix} X_r & 0 & -X_m & 0 \\ 0 & X_r & 0 & -X_m \\ -X_m & 0 & X_s & 0 \\ 0 & -X_m & 0 & X_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

dengan  $X_s$ ,  $X_r$  reaktansi induktif diri stator dan rotor,  $X_{ls}$ ,  $X_{lr}$  adalah reaktansi induktif *leakage* stator dan rotor, sedangkan  $X_m$  reaktansi induktif mutual. Hubungan antara reaktansi induktif diri, reaktansi induktif *leakage* dan reaktansi induktif mutual dinyatakan dalam persamaan (3), yakni,

$$X_s = X_m + X_{ls} \quad \text{dan} \quad X_r = X_m + X_{lr} \quad (3)$$

Matriks tegangan stator ditunjukkan oleh persamaan (4), yakni,

$$\bar{v} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3}(V_a - \frac{1}{2}V_b - \frac{1}{2}V_c) \\ \frac{1}{\sqrt{3}}(-V_b + V_c) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

dengan  $V_a$ ,  $V_b$ , dan  $V_c$  masing-masing merupakan tegangan setiap fase dari *supply* dan berbentuk sinusoidal yang dinyatakan dalam persamaan (5) seperti berikut ini,

$$\begin{aligned} V_a &= V_m \sin \omega t \\ V_b &= V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_c &= V_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{aligned} \quad (5)$$

Konstruksi matriks  $\bar{R}$  ditunjukkan oleh persamaan (6), yakni,

$$\bar{R} = \frac{1}{X_s X_r - X_m^2} \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\omega_r X_m}{\omega_b} & R_r & -\frac{\omega_r X_m}{\omega_b} \\ \frac{\omega_r X_m}{\omega_b} & 0 & \frac{\omega_r X_m}{\omega_b} & R_r \end{bmatrix} \quad (6)$$

dan vektor arus disajikan melalui persamaan (7), yakni,

$$\bar{i} = \begin{bmatrix} i_{qs} & i_{ds} & i_{qr} & i_{dr} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Untuk menghitung torsi elektromagnetik digunakan persamaan (8),

$$T_e = X_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr}) \quad (8)$$

dan kecepatan motor dihitung dengan persamaan (9),

$$p \left( \frac{\omega_r}{\omega_b} \right) = \frac{T_e - F - T_L}{2H} \quad (9)$$

dengan  $T_e$  menunjukkan torsi elektromagnetik yang dibangkitkan,  $H$  adalah konstanta inersia dari motor dalam detik,  $F$  *friction factor* dan  $T_L$  merupakan torsi beban.

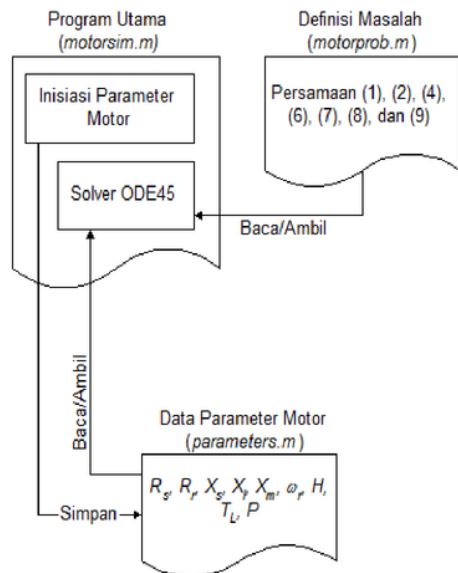
### B. Teknik Simulasi Motor Induksi Tiga Fase

Berdasarkan persamaan-persamaan yang diturunkan dengan menggunakan model dinamis sumbu dq di atas, dapat dilakukan simulasi untuk menghasilkan gambaran tentang karakteristik dinamis motor induksi tiga fase. Prinsip dari simulasi ini adalah menyelesaikan persamaan diferensial yang mengekspresikan variabel-variabel arus stator dan rotor, torsi elektromagnetik serta kecepatan putar motor dalam domain waktu.

Oleh karena simulasi akan dilakukan dengan menggunakan pemrograman MATLAB, maka prosedurnya juga mengikuti kaidah-kaidah pemrograman berbasis matriks ini. MATLAB singkatan dari *matrix laboratory* adalah salah satu bahasa pemrograman generasi keempat yang diciptakan untuk mendukung komputasi masalah-masalah keteknikan berbasis matriks. Bahasa pemrograman ini mengintegrasikan komputasi, visualisasi dan pemrograman ke dalam suatu *easy-to-use environment*, di mana

masalah-masalah berikut solusinya diekspresikan ke dalam bentuk notasi matematik yang familiar.

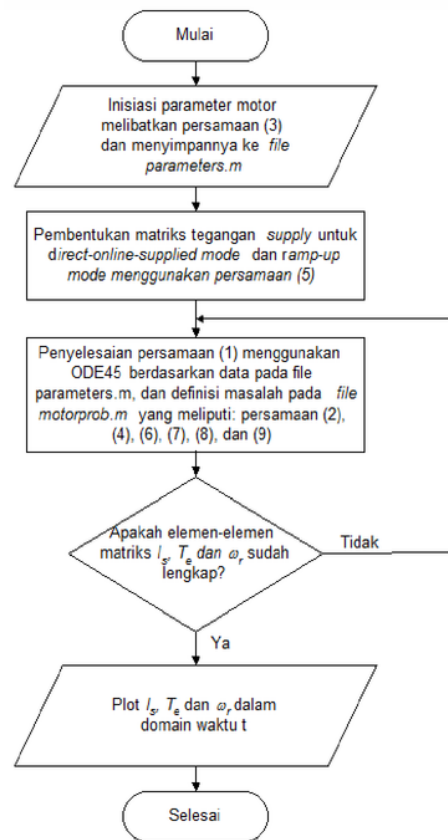
Dalam simulasi ini persamaan-persamaan yang akan diselesaikan dalam domain waktu adalah persamaan (1), persamaan (8) dan persamaan (9) dengan dukungan persamaan (2), (3), (4), (5), (6), dan (7). Untuk menyelesaikan persamaan-persamaan tersebut akan digunakan metode komputasi penyelesaian *ordinary differential equations* orde tinggi dan dalam pemrograman Matlab fungsinya dinamakan *ode45*. Salah satu prosedur yang dapat digunakan adalah dengan membagi program menjadi tiga bagian, yakni program utama, definisi masalah, dan himpunan data atau parameter yang akan disimulasikan. Ketiga bagian tersebut tersimpan dalam tiga *file* dengan ekstensi *m* yang terpisah. Prosedur komputasi ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.



Gambar 3. Mekanisme kerja solver ODE45

Gambar (3) menjelaskan bahwa komputasi memerlukan tiga *file* Matlab untuk menghimpun *script* program utama dan definisi masalah serta data parameter mesin yang dianalisis. Dalam menyelesaikan persamaan diferensial orde tinggi, fungsi *solver* ODE45 akan membaca data pada *file parameters.m* dan definisi masalah yang berisi himpunan formula persamaan diferensial yang akan diselesaikan.

Sedangkan gambar (4) menjelaskan *flow chart* komputasi. Proses komputasi ini akan menghasilkan penyelesaian persamaan diferensial berbentuk fungsi arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan putar motor dalam domain waktu, yakni  $I_s(t)$ ,  $T_e(t)$ , dan  $\omega_r(t)$  yang terhimpun dalam vektor sepanjang jumlah interval waktu simulasi yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan plot terhadap fungsi tersebut untuk mempermudah pembacaan data hasil analisis. Hasil plot dari fungsi-fungsi tersebut mencerminkan karakteristik dinamis motor induksi tiga fase.



Gambar 4. Flow chart komputasi

### 3. Metode

Studi yang dilakukan ini menggunakan pendekatan penelitian pengembangan.

#### A. Prosedur Pengembangan

Prosedur pengembangan yang dijalankan mengikuti urutan-urutan sebagai berikut.

- Analisis kebutuhan terhadap simulator pada kegiatan praktik Karakteristik Motor

Induksi Tiga Fase yang diberi catu secara *direct online supplied* dan motor induksi yang dicatu dengan tegangan *ramp-up*.

- Eksplorasi referensi dan penentuan model komputasi yang sesuai untuk menyelesaikan persamaan diferensial yang merepresentasikan karakteristik motor induksi tiga fase.
- Penentuan spesifikasi simulator yang akan dikembangkan berdasarkan analisis kebutuhan.
- Perancangan GUI untuk input, proses dan output sesuai spesifikasi yang telah ditentukan dengan mengusahakan agar antarmuka tersebut memiliki sifat *user friendly* dan mudah dioperasikan.
- Perancangan komputasi berbasis *solver* ODE45 berdasarkan hasil eksplorasi referensi penelitian terdahulu.
- Implementasi rancangan GUI semua bagian dan teknik komputasi yang telah dipilih dengan menggunakan pemrograman Matlab.
- Evaluasi kinerja simulator dengan membandingkan hasil simulasi dari simulator yang dikembangkan dengan hasil simulasi menggunakan SIMULINK dari Matlab.
- Pengujian *black box* untuk menguji fungsionalitas dari GUI yang digunakan pada simulator.

### B. Sampel Uji Coba

Untuk menguji validitas dan ketepatan spesifikasi yang telah ditentukan, hasil simulasi dari simulator yang dikembangkan dibandingkan terhadap hasil simulasi menggunakan SIMULINK. Sampel yang digunakan untuk uji coba ini terdiri atas 7 buah motor induksi tiga fase dari jenis/*name plate* sebagai berikut,

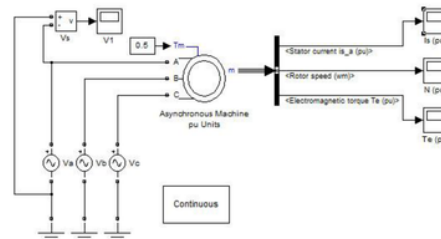
- *Name plate*: 215HP, 400V, 50Hz, 1487rpm  
Parameter dalam satuan SI:  
 $R_s=0,01379$  ohm;  $R_r=0,007728$  ohm;  
 $L_{ls}=0,000152$  H;  $L_{lr}=0,000152$  H;  
 $L_m=0,00769$  H;  $J=2,9$  kg.m<sup>2</sup>;  $P=2$ ;  
 $F=0,05658$  N.m.s;  $T_L=400$  N.m
- *Name Plate*: 150HP, 400V, 50Hz, 1487rpm  
Parameter dalam satuan pu:  
 $R_s=0,01481$  pu;  $R_r=0,008464$  pu;  
 $L_{ls}=0,04881$  pu;  $L_{lr}=0,04881$  pu;  
 $L_m=2,241$  pu;  $H=0,258$  s;  $P=2$ ;  
 $F=0,01216$  pu;  $T_L=0,5$  pu
- *Name plate*: 100HP, 575V, 60Hz, 1780rpm  
Parameter dalam satuan SI:

$R_s=0,05963$  ohm;  $R_r=0,03281$  ohm;  
 $L_{ls}=0,000633$  H;  $L_{lr}=0,000633$  H;  
 $L_m=0,02742$  H;  $J=1,3$  kg.m<sup>2</sup>;  $P=2$ ;  
 $F=0,0396$  N.m.s;  $T_L=200,106$  N.m

- *Name Plate*: 50HP, 575V, 60Hz, 1775rpm  
Parameter dalam satuan pu:  
 $R_s=0,01114$  pu;  $R_r=0,0122$  pu;  
 $L_{ls}=0,05295$  pu;  $L_{lr}=0,05295$  pu;  
 $L_m=2,006$  pu;  $H=0,1905$  s;  $P=2$ ;  
 $F=0,02363$  pu;  $T_L=0,5$  pu
- *Name plate*: 20HP, 460V, 60Hz, 1760rpm  
Parameter dalam satuan SI:  
 $R_s=0,2761$  ohm;  $R_r=0,1645$  ohm;  
 $L_{ls}=0,002191$  H;  $L_{lr}=0,002191$  H;  
 $L_m=0,07614$  H;  $J=0,1$  kg.m<sup>2</sup>;  $P=2$ ;  
 $F=0,01771$  N.m.s;  $T_L=50$  N.m
- *Name Plate*: 10HP, 460V, 60Hz, 1760rpm  
Parameter dalam satuan pu:  
 $R_s=0,0241$  pu;  $R_r=0,0159$  pu;  
 $L_{ls}=0,05518$  pu;  $L_{lr}=0,05518$  pu;  
 $L_m=1,975$  pu;  $H=0,1191$  s;  $P=2$ ;  
 $F=0,03877$  pu;  $T_L=0,5$  pu
- *Name plate*: 5HP, 460V, 60Hz, 1750rpm  
Parameter dalam satuan SI:  
 $R_s=1,115$  ohm;  $R_r=1,033$  ohm;  
 $L_{ls}=0,005974$  H;  $L_{lr}=0,005974$  H;  
 $L_m=0,2037$  H;  $J=0,02$  kg.m<sup>2</sup>;  $P=2$ ;  
 $F=0,005752$  N.m.s;  $T_L=10,1768$  N.m

### C. Pengumpulan Data

Data-data diperoleh secara simulatif menggunakan simulator yang dikembangkan dan SIMULINK. Rangkaian yang digunakan untuk menghasilkan data-data karakteristik motor pembandingan menggunakan SIMULINK ditunjukkan pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Rangkaian untuk simulasi pembandingan menggunakan SIMULINK

### D. Analisis Data

Data-data yang telah diperoleh tersebut, selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik fungsi terhadap waktu dari variabel arus stator, torsi elektromagnetik dan kecepatan angular rotor, yang mencerminkan karakteristik motor induksi tiga fase. Melalui teknik seperti ini diperoleh karakteristik motor induksi tiga fase

dari kedua simulator. Hasil simulasi menggunakan SIMULINK digunakan sebagai pembanding, karena kelengkapan MATLAB ini dipandang sebagai *tool* yang lazim dipakai di lingkungan profesi keteknikan, sehingga memiliki tingkat ketepatan yang tinggi dalam menirukan karakteristik motor induksi.

Selain membandingkan hasilnya dengan SIMULINK, evaluasi kinerja simulator yang dikembangkan juga dilakukan dengan menguji fungsionalitas panel-panel yang tersedia melalui *black box testing*. Menurut Williams [12], *black box testing* disebut juga dengan istilah *functional testing* yakni suatu pengujian perangkat lunak yang mengabaikan mekanisme internal dari komponen atau sistem yang dikembangkan dan hanya berpusat pada pengamatan output dalam merespons input-input yang diberikan selama eksekusi sistem dijalankan, dan pengujiannya dilakukan oleh pihak-pihak yang dipandang independen.

Prinsip uji fungsionalitas dengan desain *black box testing* adalah *tester* memberikan input tertentu pada sistem yang dikembangkan, selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap output yang ditampilkan. Uji ini diakhiri dengan pemberian pandangan oleh *tester* terhadap kesesuaian antara output aktual yang ditampilkan oleh perangkat lunak terhadap output yang diharapkan oleh pengembang, untuk input tertentu. Pandangan *tester* terhadap kesesuaian ini dinyatakan dalam dua kategori yakni sesuai dan tidak sesuai.

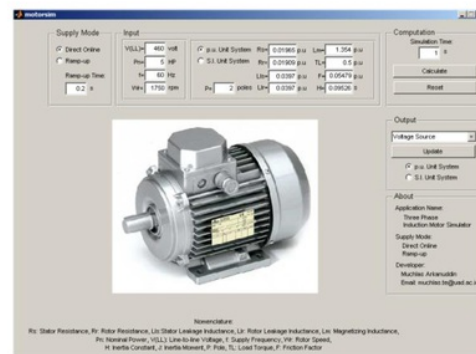
Subjek ujicoba/*tester* dalam uji ini adalah tiga orang dosen dengan kualifikasi magister (1 orang) dan doktor (2 orang) dalam bidang teknik elektro/informatika. Jenis data yang diperoleh dari uji ini bersifat kuantitatif berupa jumlah pandangan *tester* antara hasil perbandingan terhadap hasil yang diharapkan.

Data-data pada penelitian ini dianalisis dengan menggunakan teknik persentase. Oleh karena target penelitian ini menginginkan agar semua panel yang tersedia dapat berfungsi dengan baik, maka kriteria yang digunakan dalam menentukan fungsionalitas simulator yang dikembangkan bersifat diskrit. Simulator yang dikembangkan dinyatakan lolos uji ini jika *tester* memberikan pandangan bahwa 100% dari seluruh output aktual yang diamati sesuai dengan output yang diharapkan pengembang. Sebaliknya, jika terdapat satu saja (kurang dari 100%) aspek output yang tidak sesuai, maka perangkat lunak yang dikembangkan ini harus direvisi dan diuji kembali fungsionalitasnya. Dengan demikian, uji ini akan memastikan simulator motor

induksi tiga fase yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik.

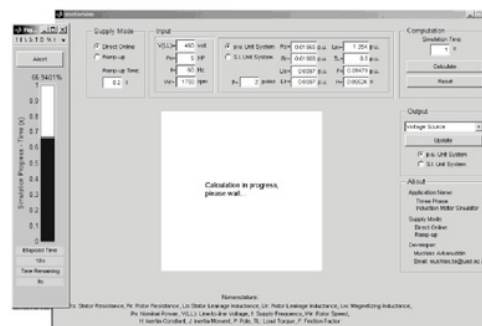
#### 4. Hasil Penelitian

Penelitian ini telah menghasilkan sebuah simulator yang dapat digunakan untuk simulasi karakteristik motor induksi tiga, dan selanjutnya produk penelitian ini disebut dengan MOTORSIM©. Simulator ini berupa perangkat lunak yang berjalan di bawah aplikasi MATLAB. Antarmuka MOTORSIM© ditunjukkan pada gambar 6.



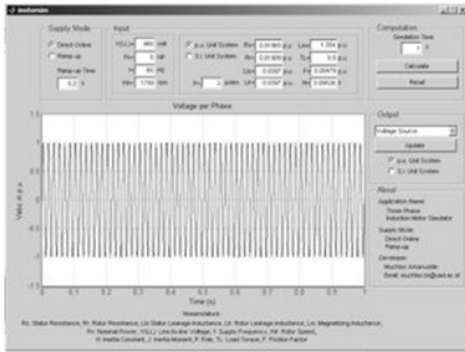
Gambar 6. Antarmuka MOTORSIM© saat pertama kali dijalankan

Sedangkan tampilannya saat komputasi dilakukan ditunjukkan pada gambar 7.



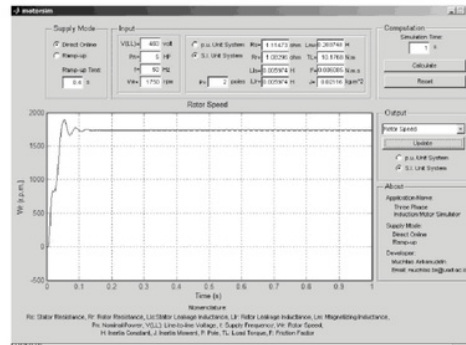
Gambar 7. Antarmuka MOTORSIM© saat komputasi dilakukan

Setelah komputasi selesai dilakukan, MOTORSIM© akan memberikan tampilan sesuai jenis output yang dipilih. Untuk jenis output *Voltage Source* yang dipilih, tampilannya ditunjukkan gambar 8,



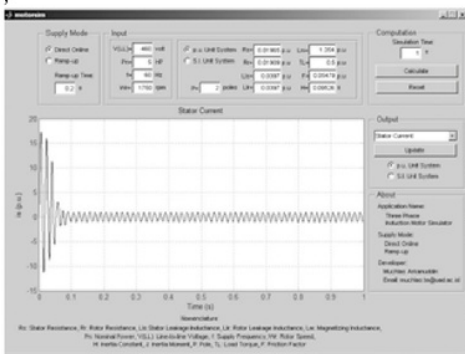
Gambar 8. Tampilan MOTOR SIM untuk jenis output *Voltage Source*

sedangkan untuk output *Stator Current*, *Electromagnetic Torque* dan *Rotor Speed*, tampilan MOTOR SIM ditunjukkan pada gambar 9 berikut ini.

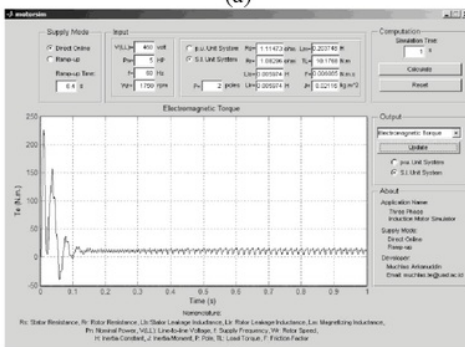


(c)

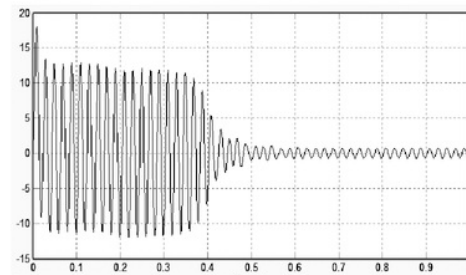
Gambar 9. Tampilan output MOTOR SIM untuk: (a) *Stator Current*, (b) *Electromagnetic Torque*, dan (c) *Rotor Speed*



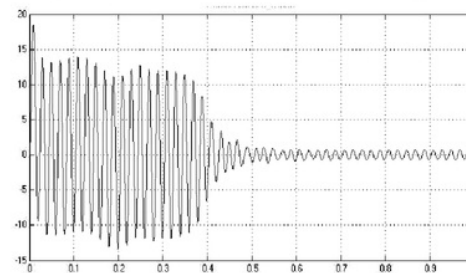
(a)



(b)



(a) Grafik arus stator (pu) versus waktu (s) dengan MOTOR SIM *direct-online supplied*

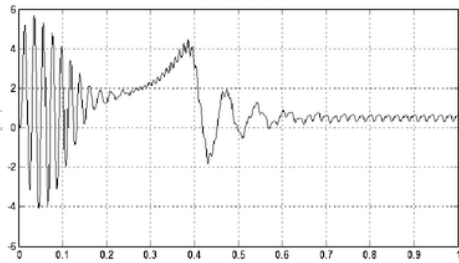


(b) Grafik arus stator (pu) versus waktu (s) dengan SIMULINK *direct-online supplied*

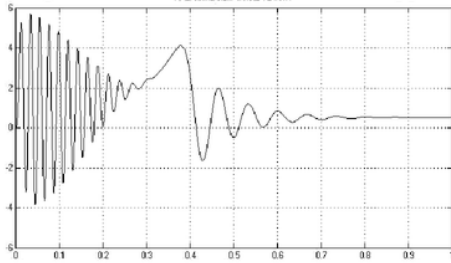
Gambar 10. Hasil simulasi arus stator untuk motor 150 HP, 400 V, 50 Hz, 1487 rpm

Untuk torsi elektromagnetik, hasil simulasinya ditunjukkan pada gambar 11.



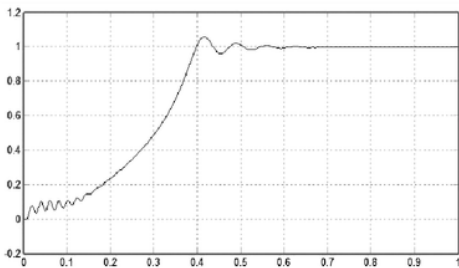


(a) Grafik torsi (pu) versus waktu (s) dengan MOTORSIM© *direct-online supplied*

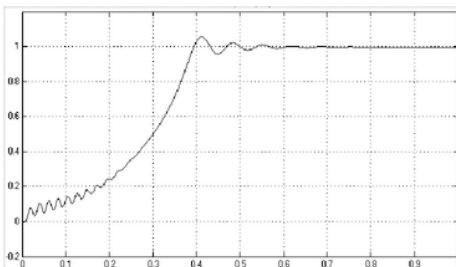


(b) Grafik torsi (pu) versus waktu (s) dengan SIMULINK *direct-online supplied*

Gambar 11. Hasil simulasi torsi untuk motor 150 HP, 400 V, 50 Hz, 1487 rpm  
Sedangkan untuk kecepatan rotor, hasil simulasinya ditunjukkan pada gambar 12.



(a)Grafik kecepatan rotor (pu) versus waktu (s) dengan MOTORSIM© *direct-online supplied*



(b)Grafik kecepatan rotor (pu) versus waktu (s) dengan SIMULINK *direct-online supplied*

Gambar 12. Hasil simulasi kecepatan rotor untuk motor 150HP,400V, 50 Hz, 1487 rpm

Berdasarkan perbandingan hasil menggunakan motor 150 HP, terlihat bahwa untuk mode *direct-online supplied*, MOTORSIM© memberikan hasil yang relatif sama dengan hasil simulasi SIMULINK. Untuk enam buah motor lainnya yang diujicobakan, juga telah memberikan kemiripan hasil antara MOTORSIM© dan SIMULINK. Untuk operasi motor dengan catu langsung, perbedaan hanya terjadi pada amplitudo dan waktu torsi mencapai nilai maksimum dengan persentase perbedaan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Persentase perbedaan hasil MOTORSIM© dan SIMULINK untuk *direct-online supplied*

Jenis Motor	$\Delta T_{em}$ (%)	$\Delta t_{T_{em}}$ (%)
215HP	0,00	0
150HP	0,00	0
100HP	0,00	0
50HP	0,00	0
20HP	3,70	0
10HP	2,56	0
5HP	7,32	0

Tabel 1 menggambarkan bahwa hanya pada motor-motor yang berdaya rendah saja (20HP, 10HP, dan 5HP), terjadi perbedaan hingga mencapai 7,32% antara hasil menggunakan MOTORSIM© dan SIMULINK, untuk aspek amplitudo torsi maksimum ( $T_{em}$ ) dan waktu mencapainya ( $t_{T_{em}}$ ). Hal itu berarti hasil simulasi karakteristik motor induksi menggunakan MOTORSIM© dapat dipandang sama dengan hasil simulasi SIMULINK untuk motor-motor berdaya tinggi di atas 20HP, yang dioperasikan dengan menggunakan *direct-online supplied*.

Selain dengan mode *direct-online supplied*, uji coba MOTORSIM© juga dilakukan dengan mode *ramp-up supplied*. Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa untuk mode *ramp-up supplied*, semua jenis motor memberikan hasil simulasi yang relatif sama antara MOTORSIM© dan SIMULINK, kecuali hanya pada aspek tertentu saja yang berbeda seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Persentase perbedaan hasil MOTORSIM© dan SIMULINK untuk *ramp-up supplied*

Jenis Motor	$\Delta T_{em}$ (%)	$\Delta T_{Tem}$ (%)
215HP	2,50	2,99
150HP	2,44	1,45
100HP	0,00	2,27
50HP	2,44	0,00
20HP	1,92	1,67
10HP	2,63	0,00
5HP	0,00	0,00

Berdasarkan tabel 2 dapat dinyatakan bahwa untuk semua jenis motor tidak terjadi perbedaan hasil simulasi yang signifikan antara penggunaan MOTORSIM© dan SIMULINK. Hal itu menunjukkan bahwa untuk semua jenis motor yang dioperasikan dengan mode *ramp-up supplied*, MOTORSIM© dapat melakukan simulasi dengan hasil yang relatif sama dengan simulasi menggunakan SIMULINK

Hasil uji fungsionalitas panel yang tersedia 10 a MOTORSIM© oleh tiga subjek *tester* ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji fungsionalitas panel pada MOTORSIM©

Nomor Tester	% Pandangan Tester	Fungsionalitas Panel
1	100% Sesuai	Berfungsi baik
2	100% Sesuai	Berfungsi baik
3	100% Sesuai	Berfungsi baik

Tabel 3 menunjukkan bahwa dari 21 item pengujian yang diberikan, ketiga *tester* menyatakan bahwa panel yang tersedia telah dapat memberikan kesesuaian output terhadap input yang diberikan sebesar 100%. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa semua panel pada MOTORSIM© telah dapat berfungsi dengan baik.

## 5. Kesimpulan

Melalui penelitian ini telah dihasilkan sebuah simulator MOTORSIM© dalam bentuk perangkat lunak berbasis pemrograman Matlab yang dapat digunakan secara valid untuk simulasi karakteristik motor induksi tiga fase. Pada operasi dengan *direct-online supplied*, MOTORSIM© dapat memberikan hasil simulasi yang valid untuk jenis motor berdaya tinggi di atas 20HP, sedangkan pada operasi menggunakan *ramp-up supplied*, simulator ini dapat memberikan hasil simulasi valid untuk semua jenis motor. Semua panel pada MOTORSIM© telah dapat berfungsi secara baik.

## Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kolega dosen di Universitas Ahmad Dahlan, yakni Rusydi Umar, Ph. D. dan Sunardi, Ph.D., yang telah menjadi teman diskusi intensif tentang pengembangan aplikasi MOTORSIM©.

## References

- [1] M. F. Rahman, D. Patterson, A. Cheok, and R. Betz, "Motor drives," in *Power electronics handbook*, 3rd ed., M. H. Rashid, Ed. Burlington, MA: Elsevier Inc., 2011, pp. 915–991.
- [2] C. Versèle, O. Deblecker, and J. Lobry, "Implementation of induction motor drive control schemes in matlab/simulink/dspace environment for educational purpose," in *MATLAB for Engineers - Applications in Control, Electrical Engineering, IT and Robotics*, K. Perutka, Ed. Rijeka, Croatia, 2011, pp. 365–386.
- [3] G. Renukadevi and K. Rajambal, "Generalized d-q model of n-phase induction motor," *Int. J. Electr. Comput. Electron. Commun. Eng.*, vol. 6, no. 9, pp. 62–71, 2012.
- [4] H. Arabaci and O. Bilgin, "Squirrel cage of induction motors simulation via simulink," *Int. J. Model. Optim.*, vol. 2, no. 3, pp. 324–327, 2012.
- [5] S. Shah, A. Rashid, and M. K. L. Bhatti, "Direct quadrature (d-q) modeling of 3-phase induction motor using matlab/simulink," *Can. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 5, pp. 237–243, 2012.
- [6] S. Boora, S. K. Agarwal, and K. S. Sandhu, "Dynamic dq axis modeling of three-phase asynchronous machine using matlab," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 2, no. 8, pp. 3942–3951, 2013.
- [7] K. S. Nithin, B. M. Jos, and M. Rafeek, "An improved method for starting of induction motor with reduced transient torque pulsations," *Int. J. Adv. Res. Electr. Electron. Instrum. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 462–470, 2013.
- [8] A. Kamal and V. K. Giri, "Mathematical modelling of dynamic induction motor and performance analysis with bearing fault," *Int. J. Innov. Technol. Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 336–340, 2013.

- [9] A. W. Leedy, "Simulink/matlab dynamic induction motor model for use as a teaching and research tool," *Int. J. Soft Comput. Eng.*, vol. 3, no. 4, pp. 102–107, 2013.
- [10] M. Rafeek, B. M. Jose, K. S. Nithin, and B. Paul, "A novel soft starter for three-phase induction motors with reduced starting current and minimized torque pulsations," *Int. J. Eng. Innov. Technol.*, vol. 2, no. 8, pp. 210–213, 2013.
- [11] A. K. Chattopadhyay and T. J. Rao, "Generalized method of computer simulation for induction motors with stator current discontinuities and its application to a cycloconverter-fed drive," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-16, no. 2, pp. 234–241, 1980.
- [12] L. Williams, *A (partial) introduction to software engineering practices and methods*. Raleigh, NC: North Carolina State University, 2010.

# Simulasi Karakteristik Transien Motor Induksi Tiga Fase Menggunakan Aplikasi MOTORSIM © Dan Simulink

ORIGINALITY REPORT

# 6%

SIMILARITY INDEX

## PRIMARY SOURCES

- |   |   |                 |
|---|---|-----------------|
| 1 | <a href="http://www.ijaerd.co.in">www.ijaerd.co.in</a><br>Internet  | 54 words — 2%   |
| 2 | <a href="http://ethesis.nitrkl.ac.in">ethesis.nitrkl.ac.in</a><br>Internet  | 24 words — 1%   |
| 3 | <a href="http://ar.scribd.com">ar.scribd.com</a><br>Internet  | 17 words — < 1% |
| 4 | T. Pana, O. Stoicuta. "Design of an extended luenberger observer for sensorless vector control of induction machines under regenerating mode", 2010 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, 2010<br>Crossref    | 15 words — < 1% |
| 5 | Daniel K. Molzahn, Bernard C. Lesieutre. "An eigenvalue formulation for determining initial conditions of induction machines in dynamic power system simulations", Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2010<br>Crossref | 14 words — < 1% |
| 6 | Lingling Fan, Zhixin Miao. "AC Machine Modeling", Elsevier BV, 2015<br>Crossref   | 12 words — < 1% |
| 7 | <a href="http://staffnew.uny.ac.id">staffnew.uny.ac.id</a><br>Internet  | 9 words — < 1%  |
| 8 | Haris Kawarizmi, Apriansyah Apriansyah. "Komparasi Gaussian   |                 |

Plume Model dan Cellular Automata pada Simulasi Distribusi Gas Polutan Cerobong Pembuangan Pembangkit Listrik", POSITRON, 2018

Crossref

9 words — < 1%

9 Herlina Siwi Widiana, Katrina Simpson, Lenore Manderson. "Cultural expressions of depression and the development of the Indonesian Depression Checklist", Transcultural Psychiatry, 2018

Crossref

9 words — < 1%

10 eprints.ums.ac.id

Internet

8 words — < 1%

11 andary23.blogspot.com

Internet

8 words — < 1%

12 repository.unhas.ac.id

Internet

8 words — < 1%

13 Ahmed M. Kassem. "Robust voltage control of a stand alone wind energy conversion system based on functional model predictive approach", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2012

Crossref

8 words — < 1%

14 "Overview on fault-tolerant four-switch three-phase voltage source converters", Chinese Journal of Electrical Engineering, 2017

Crossref

8 words — < 1%

15 docplayer.net

Internet

8 words — < 1%

16 repository.upi.edu

Internet

8 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE MATCHES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

