

Analisa Karakteristik *Steady-State* Circle Diagram Motor Induksi dengan Program Matlab

Sutimo

Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Matlab merupakan program yang sangat lengkap untuk simulasi sebuah sistem, karena penggunaan Matlab sangat luas untuk analisis sistem. Penelitian ini menjelaskan tentang motor induksi, penulis memberikan judul; Analisa karakteristik steady-state circle diagram motor induksi dengan program Matlab. Dalam analisis ini dilakukan dengan bantuan simulasi menggunakan simulink, yaitu salah satu program simulasi yang ada pada program Matlab.

Dalam analisa karakteristik steady-state motor induksi, merupakan karakteristik motor induksi dari saat starting hingga running sampai berhenti atau pengereman. Namun untuk analisa dan pemilihan motor tidak memungkinkan kita untuk melakukan analisa penghitungan setiap titik kejadian, maka dalam penelitian ini hanya menganalisa saat torsi start dan saat torsi maksimum.

Hasil simulasi tersebut adalah arus stator, kecepatan, dan torsi. Dari data yang diperoleh dari simulasi maka dapat dihitung R_{TH} , V_{TH} , slip maksimum, V_1 , dan sudut θ . Dalam analisis pemilihan motor dilanjutkan penghitungan daya dan efisiensi pada motor tersebut. Kesimpulan yang diambil, bahwa program Matlab dapat digunakan untuk mensimulasikan berbagai macam sistem, yang salah satunya simulasi pemilihan motor induksi.

Kata Kunci: Analisa, Motor Induksi, Steady-State.

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan zaman khususnya dalam bidang industri tidak bisa lepas dengan adanya mesin, karena kebutuhan manusia terhadap barang hasil produksi harus mampu diimbangi dengan produksi yang mencukupi. Melihat tuntutan produksi tersebut maka mesin adalah sebuah peralatan yang sangat vital bagi maju mundurnya sebuah industri. Mesin merupakan sebuah konstruksi alat yang menghasilkan gerak rotasi. Berawal dari gerak inilah mesin akan mempunyai manfaat yang sangat kompleks karena gerak ini mampu diolah ke dalam hal-hal apapun yang sesuai dengan keinginan manusia.

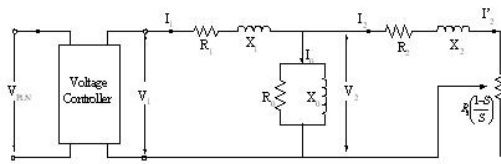
Motor induksi adalah salah satu mesin AC yang ada dalam perkembangan teknologi saat ini. Mesin induksi sering digunakan manusia dalam kehidupan rumah tangga sehari-hari maupun dunia industri karena disamping harganya yang jauh lebih murah dari mesin lainnya, juga konstruksinya yang sangat efisien serta mudah dalam perawatannya. Hal ini mendorong penyediaan motor induksi semakin marak dikembangkan. Pengembangan motor induksi ini merupakan upaya penyempurnaan terhadap mesin yang ada sekarang.

Semakin efisien sebuah konstruksi mesin dalam pengendalian, perawatan, serta penggunaannya, maka pengembangan perencanaan mesin induksi telah tercapai.

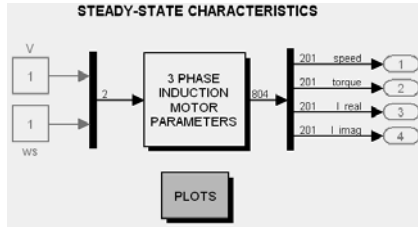
Dalam sebuah sistem perancangan khususnya analisis sistem kerja mesin induksi, sangat tidak layak jika dilakukan secara langsung terhadap model yang nyata karena sangat rawan kecelakaan dalam percobaan baik bagi alat yang digunakan maupun mesin induksi itu sendiri. Oleh karena itu diperlukan adanya simulasi dalam perancangan tersebut. Simulasi akan lebih mempermudah kita dalam pengamatan dan juga lebih efisien dalam perencanaan alat tersebut.

Di sinilah peran program MATLAB 6.5, yaitu sebuah sistem software yang digunakan dalam berbagai hal yang berhubungan dengan perhitungan, visualisasi, maupun pemrograman. Dalam software ini tersedia juga Simulink yang menyediakan aplikasi dari analisis maupun perencanaan secara komputerisasi. Berkaitan dengan simulasi analisis karakteristik *steady-state* motor induksi, MATLAB 6.5 inilah salah satu software yang dapat kita gunakan untuk melakukan analisis tersebut.

Pembahasan tulisan ini dibatasi pada penggunaan simulink pada Matlab sebagai alat pencarian data dan



Gambar 1. Rangkaian Simulasi Motor Induksi



Gambar 2. Rangkaian simulasi analisis steady-state motor induksi pada simulink dengan program Matlab.



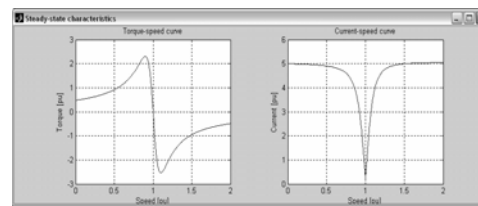
Gambar 3. Blok parameter motor induksi.

optimasi yang didasari oleh mekanika alamiah untuk menghasilkan nilai optimal suatu nilai atau sistem serta pengaruh perubahan parameter yang digunakan terhadap karakteristik motor induksi mulai start hingga berhenti. Penggunaan parameter lain hanyalah sebagai perbandingan dan tidak akan dibahas secara mendalam. Program dan simulasi menggunakan bahasa komputasi Matlab sebagai bahasa komputasi teknis.

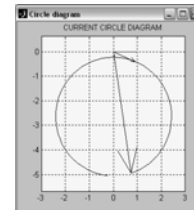
2. Perancangan Sistem

2.1. Penerapan Rangkaian pada Realitas Mesin Induksi

Rangkaian motor induksi merupakan sebuah rencana bagaimana mesin tersebut akan bekerja sesuai standar. Jika tegangan PLN masuk (pada gambar 1), maka pertama yang akan bekerja adalah *Voltage Controller* yang merupakan alat berupa rangkaian elektronika daya, yang akan secara otomatis akan menyesuaikan tegangan V_1 sebagai masukan motor induksi. *Voltage controller* pada rangkaian ini merupakan rangkaian pengasut motor induksi dalam bekerja pada saat *starting* hingga *running* untuk menyesuaikan tegangan yang dibutuhkan motor secara otomatis dari tegangan PLN.



Gambar 4. Grafik perbandingan torsi-speed dan current-speed



Gambar 5. Circle diagram arus real dan arus imajiner

2.2. Implementasi pada Simulink Program Matlab

Sistem ini dapat pula mengamati apakah simulasi akan berjalan dengan baik atau tidak sehingga pengoperasian dapat dilakukan dengan optimal untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Simulasi program diatas berjalan atas parameter-parameter yang akan dimasukkan dengan melakukan double klik atau klik kanan pilih *mask parameter* pada blok motor induksi. Adapun parameter-parameter masukan dapat dilihat seperti gambar 3.

Dari masukan parameter diatas diisi lengkap dan dijalankan, maka program akan melakukan fungsinya. Adapun urutan kerja rangkaian diatas adalah:

1. Masukan dari rangkaian diatas adalah berupa blok parameter konstant sebagai nilai tetap yang berupa tegangan input dan kecepatan sudutnya.
2. Kedua masukan tersebut akan ditransfer ke Mux dan oleh Mux tersebut akan ditransfer sebagai masukan (input) motor induksi.
3. Dengan masuknya tegangan dan kecepatan sudut tersebut motor akan mulai bekerja.
4. Dari kinerja motor induksi tersebut dapat dilakukan pengukuran dari arus, kecepatan, dan torsi motor tersebut dengan mentransfer data melalui demux untuk ditransfer ke Out.
5. Dalam pengamatan grafik simulasi dapat dibuka pada Plot untuk mengamati hasil kerjanya.
6. Untuk mengetahui perubahan nilai-nilai keluaran secara detail dan kontinyu dari *starting* hingga *running*, dapat diamati pada *common windows* aplikasi program Matlab tersebut.

Dari hasil simulasi diatas dapat diamati pada plot dengan hasil sebagai berikut:

3. Evaluasi

Dari simulasi steady-state motor induksi diatas dapat diamati bahwa simulasi tersebut mempunyai parameter masukan sebagai variasi analisis yang akan kita rencanakan. Parameter yang akan dimasukkan antara lain:

Tabel 1. Prameter masukan.

Percobaan	R ₁ (pu)	L ₁ (pu)	R ₂ (pu)	L ₂ (pu)	L ₀ (pu)
Motor 1	0,005	0,05	0,02	0,1	4,5
Motor 2	0,010	0,10	0,02	0,1	4,5
Motor 3	0,015	0,15	0,02	0,1	4,5
Motor 4	0,020	0,20	0,02	0,1	4,5
Motor 5	0,025	0,25	0,02	0,1	4,5
Motor 6	0,010	0,10	0,03	0,2	4,5
Motor 7	0,010	0,10	0,04	0,3	4,5
Motor 8	0,010	0,10	0,05	0,4	4,5
Motor 9	0,010	0,10	0,06	0,5	4,5
Motor10	0,010	0,10	0,07	0,6	4,5

Tabel 2. Hasil simulasi starting motor induksi.

Percobaan	Speed (pu)	Torsi (pu)	Is (pu)	I _{real} (pu)	I _{mag} (pu)
Motor 1	0	0,8522	6,6726	1,0748	-6,6865
Motor 2	0	0,4783	4,9989	0,7282	-4,9456
Motor 3	0	0,3066	3,9960	0,5451	-3,9687
Motor 4	0	0,2120	3,3281	0,4335	-3,2998
Motor 5	0	0,1566	2,8515	0,3589	-2,8288
Motor 6	0	0,3180	3,4006	0,4337	-3,3728
Motor 7	0	0,2381	2,6028	0,3059	-2,5847
Motor 8	0	0,1903	2,1246	0,2355	-2,1115
Motor 9	0	0,1585	1,8061	0,1911	-1,7959
Motor10	0	0,1358	1,5787	0,1607	-1,5705

Tabel 3. Hasil simulasi torsi maksimum motor induksi.

Percobaan	Speed (pu)	Torsi (pu)	Is (pu)	I _{real} (pu)	I _{mag} (pu)
Motor 1	0,8700	3,1658	4,6396	3,2734	-3,2880
Motor 2	0,9000	2,3043	3,4730	2,4249	-2,4863
Motor 3	0,9200	1,8031	2,7493	1,9165	-1,9713
Motor 4	0,9300	1,4759	2,3278	1,5843	-1,7055
Motor 5	0,9400	1,2459	1,9815	1,3441	-1,4559
Motor 6	0,9000	1,5557	2,3832	1,6125	-1,7549
Motor 7	0,9000	1,1741	1,8338	1,2077	-1,3799
Motor 8	0,9000	0,9428	1,5030	0,9654	-1,1520
Motor 9	0,9000	0,7876	1,2822	0,8041	-0,9987
Motor10	0,9000	0,6763	1,1245	0,6890	-0,8887

1. Resistansi belitan stator (R₁) dalam satuan pu (per unit).
2. Resistansi belitan rotor (R₂) dalam satuan pu (per unit).
3. Induktansi belitan stator (L₁), dalam satuan pu (per unit).
4. Induktansi belitan rotor (L₂), dalam satuan pu (per unit).
5. Induktansi magnetizing (L₀), dalam satuan pu (per unit).

Pada simulasi *stady-satate* motor induksi 3 phase pada simulink tersebut telah menggunakan parameter constant sebagai nilai tetap untuk masukan simulasi motor induksi. Parameter tersebut antara lain:

Tegangan input PLN, V_L = 1 PU
Kecepatann sudut masukan, ω = 1 PU

Untuk parameter yang digunakan sebagai variasi macam-macam motor induksi yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 1. Dari parameter masukan pada tabel 1 maka dapat dilakukan pencarian nilai X₁ dan X₂ sebagai parameter masukan analisis motor induksi. Pada tabel 1 ditunjukkan variasi motor induksi yang akan dilakukan untuk pemilihan dengan melakukan analisis yang akan dibahas pada langkah-langkah analisis selanjutnya.

Setelah rangkaian tersebut disimulasikan pada simulink pada program Matlab, akan menghasilkan data-data keluaran yang berupa:

1. Kecepatan rotor motor induksi tersebut dalam satuan PU dari saat *starting* hingga *running*.
2. Torsi motor induksi dari saat *starting* hingga *running*, dalam satuan PU.
3. Arus motor (polar) yang dibutuhkan dari saat *starting* hingga *running*, dalam satuan PU.
4. Arus real dan imajiner (rectangular) motor induksi dari saat *starting* hingga *running*, dalam satuan PU.

Langkah selanjutnya setelah parameter motor ditentukan maka akan dapat melakukan *running* rangkaian simulasi motor induksi, dan dapat melihat dari hasil simulasi pada *common windows* pada master Matlab, dapat dilihat pada tabel 2 dan 3. Tabel 2 adalah data-data parameter dan hasil simulasi dan tabel 3 adalah pengambilan data hasil simulasi. Simulasi rangkaian ini berupa nilai-nilai dari saat *starting* hingga *running*. Namun pada penelitian simulasi motor induksi ini hanya mengambil data-data pada saat *starting* dan torsi maksimum karena penentuannya cukup pada kejadian atau tempat kedudukan torsi start dan torsi maksimum.

Data parameter tetap pada simulasi motor induksi ini sebagai parameter motor induksi yang tidak akan dilakukan perubahan nilai. Namun pada nilai-nilai parameter masukan saja yang akan membedakan antara motor satu dengan yang lainnya atau dengan kata lain variasi motor tersebut yang akan digunakan sebagai uji kelayakan simulasi program kali ini.

Penghitungan analisis pencarian nilai R_{TH} sesuai dengan rumus

$$R_{TH} \approx R_1 \left(\frac{X_0}{X_1 + X_0} \right)^2 \quad 1$$

X_{TH} sesuai denga rumus

$$X_{TH} \approx X_1 \quad 2$$

Setelah tahu nilai resistansi dan reaktansi pada rangkaian thevenin, langkah selanjutnya juga menghitung nilai V_{TH} sesuai dengan rumus

$$T_{start} = \frac{3V_{TH}^2 R_2}{\omega_{sync} \left\{ (R_{TH} + R_2)^2 + (X_{TH} + X_2)^2 \right\}} \quad 3$$

V₁ sesuai dengan rumus

$$V_{TH} = V_1 \frac{X_0}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_0)^2}} \quad 4$$

Nilai sudut kerja arus (θ_1) dari nilai arus yang berupa besaran rectangular sedangkan nilai sudut kerja tegangan (θ_v) dianggap nol. Pada rangkaian thevenin ini nilai reaktansi thevenin sesuai dengan rumus

$$X_{TH} \approx X_1 \quad 5$$

yaitu dianggap sama dengan X₁.

Analisa penghitungan pada saat start motor induksi dengan slip adalah 1 sehingga tidak ada perbedaan pada motor 1 sampai dengan motor 10. Untuk menghitung nilai slip maksimum adalah sesuai dengan rumus

$$s_{max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{TH}^2 + (X_{TH} + X_2)^2}} \quad 6$$

Analisa terakhir yang akan kita lakukan yaitu menganalisa nilai-nilai daya motor induksi, daya input sesuai dengan rumus

$$P_{in} = 3V_1 I_1 \cos \theta \quad 7$$

Daya rugi tembaga lilitan stator

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1 \quad 8$$

Daya yang ditarik oleh rotor

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} \quad 9$$

Daya mekanik pada rotor

$$P_{AG} = 3.V_1 I_1 \cos \theta - 3I_1^2 R_1 \quad 10$$

Daya keluaran (output)

$$P_{conv} = (1 - s)P_{AG} \quad 11$$

Yang paling pokok dalam pemilihan motor adalah besar nilai efisiensi motor induksi untuk menganalisa efisiensi digunakan rumus

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad 12$$

Pemilihan motor induksi adalah dengan analisa pada saat torsi start dari nilai-nilai akhir yang akan kita amati seperti pada tabel 6 dan pada torsi maksimum dapat kita lihat pada tabel 7.

Tabel 4. Nilai penghitungan analisa V₁ dan sudut θ untuk saat starting.

Percobaan	R _{TH} (pu)	V _{TH} (pu)	V ₁ (pu)	θ
Motor 1	0,004890714	0,573039825	0,579412532	-80,73065
Motor 2	0,009569943	0,57082129	0,583511723	-81,62384
Motor 3	0,014047867	0,569418841	0,588404912	-82,15986
Motor 4	0,018334088	0,568499992	0,593772035	-82,51582
Motor 5	0,022437673	0,567762109	0,599309761	-82,76931
Motor 6	0,009569943	0,568799107	0,581451452	-82,67269
Motor 7	0,009569943	0,567751812	0,58039046	-83,25042
Motor 8	0,009569943	0,567158381	0,579796149	-83,63598
Motor 9	0,009569943	0,566799672	0,579444506	-83,92607
Motor10	0,009569943	0,566534162	0,579190869	-84,15759

Tabel 5. Nilai penghitungan analisa V₁ dan sudut θ untuk saat torsi max.

Percobaan	R _{TH} (pu)	S _{max} (pu)	V _{TH} (pu)	V ₁ (pu)	θ
Motor 1	0,00489071	0,13326251	0,57190055	0,57825535	-45,12749
Motor 2	0,00956994	0,09988571	0,56770844	0,58032555	-45,71628
Motor 3	0,01404786	0,07987399	0,56380599	0,58260256	-45,80755
Motor 4	0,01833408	0,06854251	0,56015197	0,58505291	-47,10989
Motor 5	0,02243767	0,05702579	0,55672569	0,58766303	-47,28652
Motor 6	0,00956994	0,09994915	0,56676589	0,57936205	-47,42147
Motor 7	0,00956994	0,09997139	0,56628053	0,57886591	-48,80731
Motor 8	0,00956994	0,09998168	0,56598520	0,57856402	-50,03629
Motor 9	0,00956994	0,09998728	0,56577816	0,57835237	-51,16084
Motor10	0,00956994	0,09999055	0,56564204	0,57821323	-52,21395

Tabel 6. Nilai penghitungan analisa daya dan efisiensi saat starting.

Percobaan	P _{in} (pu)	P _{SCL} (pu)	P _{AG} (pu)	P _{out} (pu)	η (%)
Motor 1	0,62275	0,22262	0,400132	0,40013	64,2524
Motor 2	0,42491	0,24989	0,175021	0,17502	41,1901
Motor 3	0,32074	0,23952	0,081215	0,08122	25,3215
Motor 4	0,25740	0,22153	0,035871	0,03587	13,9361
Motor 5	0,21510	0,20328	0,011818	0,01182	5,4942
Motor 6	0,25218	0,11564	0,136537	0,13654	54,1431
Motor 7	0,17755	0,06775	0,109800	0,10980	61,8432
Motor 8	0,13655	0,04514	0,091403	0,09140	66,9412
Motor 9	0,11074	0,03262	0,078116	0,07812	70,5425
Motor10	0,09308	0,02492	0,068153	0,06815	73,2230

Tabel 7. Nilai penghitungan analisa daya dan efisiensi saat torsi maksimum.

Percobaan	P _{in} (pu)	P _{SCL} (pu)	P _{AG} (pu)	P _{conv} (pu)	P _{out} (pu)	η (%)
Motor 1	8,04862	0,32289	7,72573	6,69618	6,69618	83,1966
Motor 2	6,04641	0,36185	5,68456	5,11675	5,11675	84,6246
Motor 3	4,80525	0,34014	4,46511	4,10846	4,10846	85,4995
Motor 4	4,08566	0,32512	3,76054	3,5103	3,51030	85,9177
Motor 5	3,49336	0,29448	3,19889	3,01647	3,01647	86,3485
Motor 6	4,14221	0,17039	3,97182	3,57484	3,57484	86,3027
Motor 7	3,18457	0,10089	3,08369	2,77541	2,77541	87,1516
Motor 8	2,60875	0,06777	2,54098	2,28692	2,28692	87,6638
Motor 9	2,22469	0,04932	2,17537	1,95786	1,95786	88,0060
Motor10	1,95060	0,03794	1,91267	1,72142	1,72142	88,2506

4. Kesimpulan

Dari analisis kerja dan hasil pengujian motor induksi dengan program Simulink Matlab ini dapat diambil kesimpulan:

1. Terdapat banyak jenis-jenis komponen yang digunakan untuk simulasi motor induksi.
2. Semakin besar impedansi belitan pada stator motor induksi, nilai efisiensi saat starting akan semakin kecil namun nilai efisiensi pada saat torsi maksimum akan semakin besar.
3. Semakin besar impedansi belitan pada rotor motor induksi maka nilai efisiensi saat starting akan semakin besar, begitu pula nilai efisiensi pada saat torsi maksimum juga akan semakin besar.
4. Bertambahnya impedansi baik pada stator maupun rotor akan memperkecil daya motor induksi.
5. Dari hasil analisa pada tabel 6 dan tabel 7 menunjukkan motor yang dapat bekerja dengan baik adalah motor induksi dengan impedansi kecil pada stator dan impedansi besar pada rotor.
6. Dari hasil simulasi dari motor induksi pada program ini didapat nilai slip, torsi, arus stator nyata, dan arus stator dalam bentuk polar.
7. Dari analisa perhitungan diperoleh nilai tegangan rangkaian thevenin (V_{TH}), tegangan input (V_1), slip maksimum (S_{max}), dan sudut kerja motor induksi (θ), serta dilanjutkan analisa daya dan efisiensi.

Daftar Pustaka

- [1] A. E. Fitzgerald; Charles Kingsley, Jr.; Stephen D Umans, 1992, *Mesin-Mesin Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [2] B L Theraja, 1987, *Electrical Technologi*, Ram Nagar, New Delhi.
- [3] C. L. Lister, 1996, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Andi Offset, Yogyakarta.
- [4] Eugene C. Lister, 1993, *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [5] J. Edyanto, 2002, *Matlab Bahasa Komputasi Teknis*, Andi, Yogyakarta.
- [6] Muhammad H. Rashid, 1988, *Power Electronics*, Prentice-Hall, Inc.
- [7] S. J. Chapman, 1991, *Electric Machinery Fundamentals*, Mcgraw-Hill.
- [8] Sumanto, 2001, *Elektronik Industri*, Andi, Yogyakarta.
- [9] *User Manual*, MATLAB Version 6.5.0.180913a (R13).
- [10] Zuhail, 2000, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.