

Analisis Pengaruh Perubahan Tegangan Terhadap Torsi Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Simulasi Matlab

Fitrizawati¹, Utis Sutisna² Miliono³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo

Jln. Semingkir No. 1 Purwokerto 53132 INDONESIA

email: fitrizawati@gmail.com¹

Abstrak

Prinsip dasar melihat karakteristik motor induksi tiga fasa digunakan besaran-besaran arus, torsi, daya, tegangan dan kecepatan. Motor induksi mempunyai karakteristik yang sangat baik jika bekerja pada tegangan konstan dan putaran konstan. Berdasarkan hal tersebut maka munculah ide atau gagasan permasalahan apakah yang akan terjadi jika unsur tegangan divariasikan. Analisis terhadap pengaruh perubahan tegangan dan torsi mesin dilakukan untuk mengetahui sejauh mana akibat yang ditimbulkan. Dalam penelitian ini dibahas analisis torsi motor induksi tiga fasa dengan menggunakan alat bantu perangkat lunak MATLAB versi 7.8.0 (R2009a). Dari simulasi diperoleh hasil pada tegangan jala-jala PLN turun hingga 10%, arus rotor dan arus stator turun hingga 16,34%; putaran rotor naik 38,73%; torsi mesin sekitar 70,72%. Pada tegangan masukan standar rata-rata jala-jala PLN di dapat arus rotor dan arus stator turun hingga 12,95%; putaran rotor naik 34,94%; torsi mesin sekitar 70,42%. Sedangkan pada tegangan jala-jala PLN naik hingga 10%, simulasi menghasilkan arus rotor dan arus stator turun 21,43%; putaran rotor naik 30,47%; torsi mesin sekitar 77,74%.

Kata Kunci : Motor Induksi, Karakteristik Motor, MATLAB SIMULINK.

1. Pendahuluan

Motor induksi adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik^[1]. Listrik yang diubah adalah listrik 3 fasa. Rotor ditempatkan pada rongga stator, sehingga garis medan magnet putar stator akan memotong belitan rotor^[2]. Rotor motor induksi adalah beberapa batang penghantar yang ujung-ujungnya dihubungkan singkatkan menyerupai sangkar tupai, maka sering disebut rotor sangkar tupai. Kejadian ini mengakibatkan pada rotor timbul induksi elektromagnetis. Medan magnet putar dari stator saling berinteraksi dengan medan magnet rotor, terjadilah torsi putar yang berakibat rotor berputar^[2]. Karakteristik Beban Nol Motor Induksi Rotor Sangkar Saat Pengasutan Menggunakan *Toolbox Power System Blockset* Program Simulasi Matlab Simulink. Metode yang digunakan adalah dengan rangkaian ekuivalen pada sumbu dq yang diperoleh dari teori kerangka acuan (*reference frame theory*). Penyelesaiannya menggunakan program simulasi Matlab Simulink yang didalamnya terdapat *toolbox power system blockset*. Dengan menggunakan metode ini diperoleh hasil yang menggambarkan karakteristik motor induksi pada saat pengasutan secara grafis, dimana arus start mencapai kira-kira sepuluh kali arus nominalnya^[4].

Aji Hari Riyadi dalam penelitiannya tahun 2004 yang berjudul “Analisa Torsi dan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa dengan Simulasi Matlab” menggunakan metode perhitungan dengan persamaan dasar dan persamaan yang ditransformasikan pada sumbu d – q – 0 menyimpulkan bahwa Kinerja (*performance*) motor induksi ditentukan oleh karakteristik torsi terhadap putaran. Dari karakteristik torsi dan putaran yang dihasilkan dengan analisis menggunakan persamaan dasar dibanding dengan analisis yang menggunakan persamaan yang ditransformasi terjadi perbedaan dimana perbedaan tersebut dikarenakan adanya perbedaan pada penurunan matematis yang digunakan untuk menganalisis motor induksi tiga fasa. Hasil menggunakan persamaan dasar putaran motor cenderung mengalami penurunan putaran yang signifikan.

=====

Hasil perhitungan dari program komputer yang dilakukan sangat dipengaruhi oleh parameter masukan dari motor sehingga pada hasil torsi terlihat ada persamaan antara hasil analisis menggunakan persamaan dasar dibanding menggunakan persamaan yang ditransformasi. Fungsi torsi dan putaran merupakan dasar untuk menentukan penggunaan motor, sehingga didapatkan parameter dan efisiensi yang diharapkan ^[5].

Penelitian yang dilakukan oleh Heysha Feronika Siregar tahun 2014 tentang “Analisis Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa pada Kondisi Tegangan Masuk Tidak Seimbang Lebih” dengan menggunakan simulasi perangkat lunak Matlab, analisis dilakukan untuk melihat dampak tegangan tidak seimbang pada motor 3 HP 50 Hz. Dari hasil simulasi, dapat dilihat bahwa ketidak seimbangan tegangan masukan menyebabkan penambahan rugi-rugi dan pengurangan efisiensi, terutama pada VUF = 5%. Pada harga VUF ini, ada penambahan rugi-rugi sebesar 7,16% dan penurunan efisiensi sebesar 0,63% ^{[6][7]}.

Motor induksi tiga fasa mempunyai beberapa parameter dan karakteristik yang harus diketahui. Beberapa analisa menunjukan bahwa karakteristik yang perlu diketahui dan dominan, adalah torsi keluaran dan kecepatan putarannya^{[8][9]}. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa keluaran torsi dan kecepatan putaran dari motor induksi tiga fasa dengan batasan dan asumsi tertentu. Karakteristik motor induksi tiga fasa ditentukan oleh kemampuan motor untuk memikul beban^[10] atau kemampuan motor untuk membangkitkan torsi yang digunakan untuk memutar beban. Pengamatan torsi ada hubungan yang erat dengan putaran motor.

Perubahan nilai arus rotor, arus stator, torsi dan kecepatan putaran pada motor induksi, dengan menggunakan alat bantu perangkat lunak MATLAB dan SIMULINK. Dengan simulasi pemodelan SIMULINK penulis berusaha mengetahui apa yang akan terjadi jika variabel tegangan masukan yang mencatu motor induksi dan torsi motor nilainya bervariasi. Dari model simulasi dan hasil analisis, diharapkan diperoleh data-data percobaan dan pengamatan yang dapat menggambarkan kinerja motor induksi tiga fasa.

2. Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang di laksanakan untuk menyelesaikan penelitian ini sebagai berikut:

- Menentukan judul penelitian;
- Mengumpulkan bahan-bahan penelitian;
- Memasang perangkat lunak MATLAB versi 7.8.0 (R2009a) di komputer pribadi/laptop;
- Membuat model baru pada aplikasi MATLAB Simulink dengan nama file Motor3ph.mdl;
- Menentukan pengaturan-pengaturan parameter model serta waktu simulasi agar data-data simulasi mudah diamati;
- Menjalankan simulasi untuk $T_m = 2$ dengan melakukan perubahan tegangan sumber antara 340 Volt hingga 420 Volt dan mencatat hasil untuk arus rotor, arus stator, putaran dan torsi motor;
- Menjalankan simulasi untuk $T_m = 4$ dengan melakukan perubahan tegangan sumber antara 340 Volt hingga 420 Volt dan mencatat hasil untuk arus rotor, arus stator, putaran dan torsi motor;
- Menjalankan simulasi untuk $T_m = 10$ dengan melakukan perubahan tegangan sumber antara 340 Volt hingga 420 Volt dan mencatat hasil untuk arus rotor, arus stator, putaran dan torsi motor;
- Menganalisis hasil simulasi dengan cara membandingkan semua data keluaran untuk tiap-tiap perubahan variabel T_m dan perubahan tegangan;
- Membuat kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan.

ITEKS
Intuisi Teknologi Dan Seni

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak-balik (ac) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator [1]. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3-fasa dan motor induksi 1-fasa. Motor induksi 3-fasa dioperasikan pada sistem 3-fasa dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1-fasa dioperasikan pada sistem tenaga 1-fasa dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1-fasa mempunyai daya keluaran yang rendah. Bentuk gambaran motor induksi 3-fasa diperlihatkan pada Gambar 2.1, dan contoh penerapan motor induksi ini di industri diperlihatkan pada Gambar 2.1.



(a) motor 3 Fasa (b) Bagian dalam motor induksi (c) Penerapan motor induksi di dunia industri

Gambar 2.1 Motor induksi 3-fasa

Data-data motor induksi mengenai daya, tegangan dan data lain yang berhubungan dengan kerja motor induksi dibuatkan pada plat nama (*name plate*) motor induksi [1]

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3-fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3-fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator [1].

Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus; dan sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun [5].

Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan

ITEKS
Intuisi Teknologi Dan Seni

berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron. Besarnya kecepatan sinkron adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\omega_{\text{sink}} &= 2\pi f \text{ (listrik, rad/dt)} \\ &= 2\pi f / P \text{ (mekanik, rad/dt)}\end{aligned}\quad (2.1)$$

Atau

$$N_s = 60.f / P \text{ (putaran/menit, rpm)} \quad (2.2)$$

dengan:

f = frekuensi sumber AC (Hz)

P = jumlah pasang kutub

N_s dan ω_{sink} = kecepatan putaran sinkron medan magnet stator.

Apabila rotor dari motor induksi berputar dengan kecepatan N_r , dan medan magnet stator berputar dengan kecepatan N_s , maka bila ditinjau perbedaan kecepatan relatif antara kecepatan medan magnet putar stator terhadap kecepatan rotor, ini disebut kecepatan slip yang besarnya sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan Slip} = N_s - N_r \quad (2.3)$$

Kemudian slip (s) adalah :

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2.4)$$

Frekuensi yang dibangkitkan pada belitan rotor adalah f_2 sebesar:

$$f_2 = \frac{(N_s - N_r)P}{120} \quad (2.5)$$

Dengan p = jumlah kutub magnet stator. Sedangkan frekuensi medan putar stator adalah f_1 sebesar :

$$f_1 = \frac{N_s \cdot P}{120} \quad (2.6)$$

Dari persamaan-persamaan di atas akan diperoleh :

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{(N_s - N_r)}{N_s}, \quad f_2 = s \cdot f_1 \quad (2.7)$$

Apabila slip = 0 (karena $N_s = N_r$) maka $f_2 = 0$. Apabila rotor ditahan slip = 1 (karena $N_r = 0$) maka $f_2 = f_1$. Dari persamaan $f_2 = s \cdot f_1$, diketahui bahwa frekuensi rotor dipengaruhi oleh slip. Oleh karena GGL induksi dan reaktansi pada rotor merupakan fungsi frekuensi maka besarnya juga turut dipengaruhi oleh slip. Besarnya GGL induksi efektif pada kumparan stator adalah :

$$E_1 = 4,44 f_1 N_1 \Phi_m \quad (2.8)$$

Selanjutnya, besarnya GGL induksi efektif pada kumparan rotor adalah :

$$\begin{aligned}E_{2s} &= 4,44 f_2 N_2 \Phi_m \\ &= 4,44 s \cdot f_1 \cdot N_2 \Phi_m \\ &= s \cdot E_2\end{aligned}\quad (2.9)$$

Dengan :

E_2 = GGL pada saat rotor diam ($N_r = N_s$)

E_{2s} = GGL pada saat rotor berputar

N_1 = Jumlah lilitan primer (lilitan stator)

N_2 = Jumlah lilitan sekunder (lilitan rotor)

Karena kumparan rotor mempunyai reaktansi induktif yang dipengaruhi oleh frekuensi, maka dapat dibuatkan :

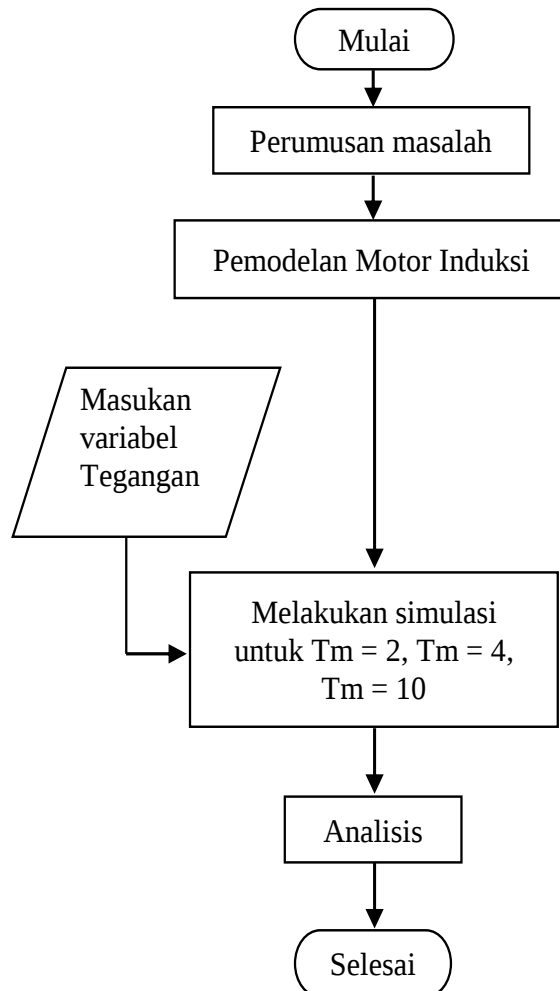
$$\begin{aligned}X_{2s} &= 2 \pi f_2 L_2 \\ &= 2 \pi s \cdot f_1 L_2 \\ &= s \cdot X_2\end{aligned}\quad (2.10)$$

Dengan :

X_{2s} = reaktansi pada saat rotor berputar.

X_2 = reaktansi pada saat rotor diam.

Diagram alir penelitian yang secara lengkap sebagai berikut:

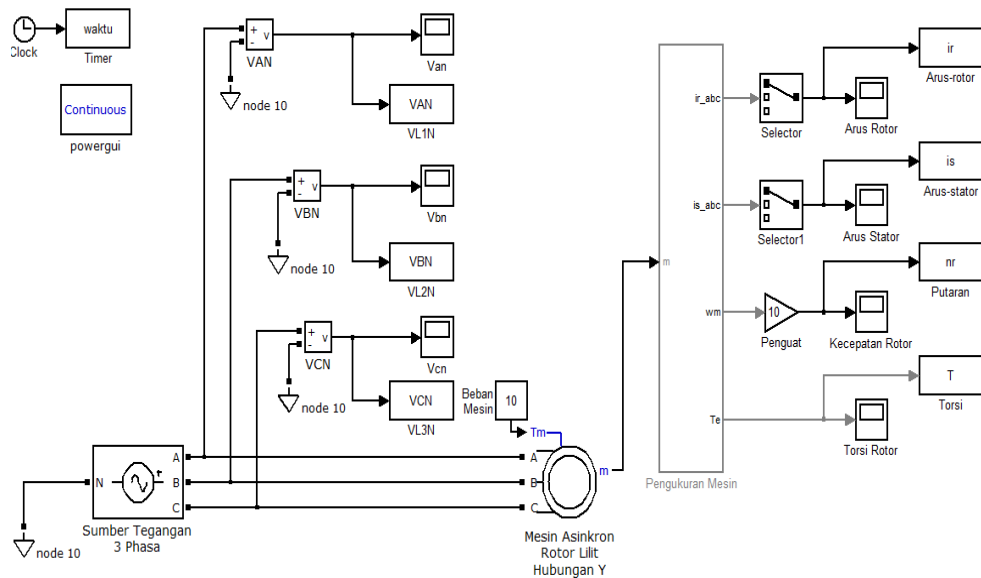


Gambar 2.2 Diagram alir penelitian

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Pembuatan Model Simulasi Dengan Simulink

Salah satu alat bantu simulasi yang banyak dipakai adalah dengan menggunakan perangkat lunak (*software*). Perangkat lunak *MATLAB* versi 7.8.0 (R2009a) menyediakan alat bantu simulasi yakni *MATLAB SIMULINK*. *SIMULINK* merupakan sebuah *Toolbox* yang disediakan oleh *MATLAB* untuk berbagai macam simulasi. Untuk dapat melakukan simulasi terlebih dahulu membuat model yang dibutuhkan sesuai dengan apa yang akan disimulasikan^{[11][12]}. Gambar 3.1 berikut ini menunjukkan model-model yang digunakan pada analisa karakteristik motor induksi tiga fasa dengan simulasi Matlab.



Gambar 3.1 Model rangkaian pengujian

3.2. Analisa Dan Pembahasan

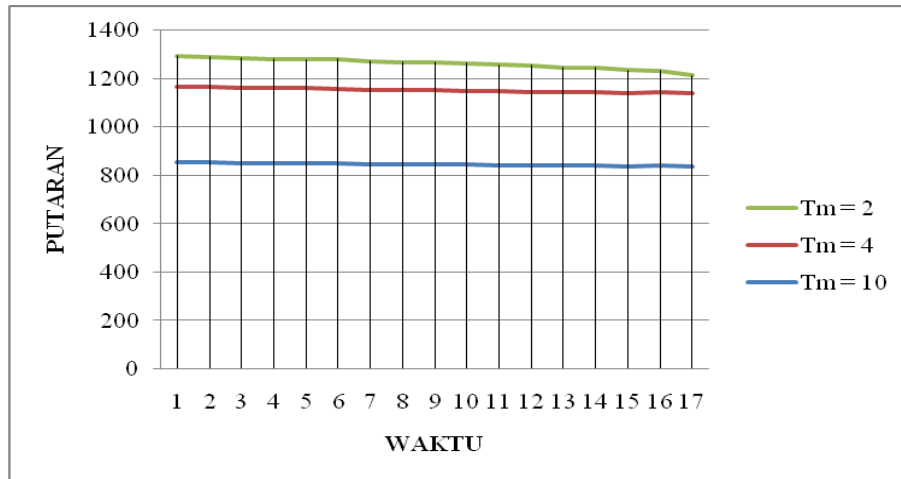
Simulasi dilakukan untuk membandingkan tiga variasi masukan konstanta torsi mesin yakni saat $T_m = 2$, $T_m = 4$ dan $T_m = 10$ dengan merubah nilai variabel tegangan masukan fasa ke fasa mulai dari 340 Volt (susut tegangan 10% dari tegangan terminal) hingga 420 Volt (tegangan lebih 10% dari tegangan terminal).

Tabel. 3.1 Data hasil simulasi

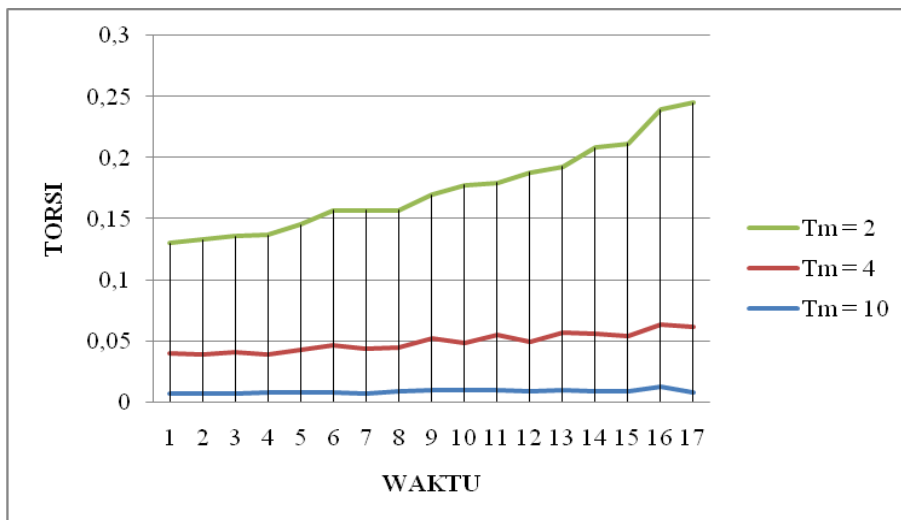
No	Tegangan F-F (Volt)	Putaran (rpm)			Torsi (N.m)		
		$T_m = 10$	$T_m = 4$	$T_m = 2$	$T_m = 10$	$T_m = 4$	$T_m = 2$
1	340	856	312	128	0,00735	0,0326	0,0905
2	345	854	312	127	0,00762	0,0316	0,0936
3	350	852	312	122	0,00766	0,0333	0,095
4	355	851	310	121	0,00784	0,0318	0,0971
5	360	851	310	120	0,0084	0,0345	0,1025
6	365	850	310	122	0,00823	0,0388	0,1102
7	370	847	308	120	0,00736	0,0366	0,113
8	375	848	308	115	0,00907	0,036	0,112
9	380	845	308	115	0,0099	0,042	0,118
10	385	845	306	115	0,00976	0,039	0,129
11	390	844	305	110	0,00982	0,045	0,125
12	395	842	305	109	0,00908	0,04	0,139
13	400	842	304	102	0,01	0,047	0,136
14	405	840	304	102	0,0094	0,047	0,152
15	410	839	302	95	0,0088	0,045	0,1578
16	415	841	302	92	0,0125	0,051	0,176
17	420	837	303	75	0,00834	0,053	0,184

3.3. Pengujian Dengan Simulink

Pengujian rangkaian untuk motor tiga fasa rotor lilit dalam hubungan bintang (Y) dilakukan untuk tiga jenis konstanta *Torque Machine Input* (T_m) yang berbeda yakni $T_m = 2$, $T_m = 4$ dan $T_m = 10$. Variasi tegangan masukan motor berkisar antara 340 Volt hingga 420 Volt dan menghasilkan data dalam bentuk tabel dan gambar grafik-grafik seperti penjelasan berikut ini.



Gambar 3.2 Grafik putaran fungsi waktu



Gambar3.3 Grafik torsi fungsi waktu

Dari data jelaslah bahwa setiap perubahan variabel tegangan masukan sangat mempengaruhi variabel-variabel yang lain baik arus rotor, arus stator, putaran maupun torsi mesin. Dengan merubah masukan konstanta Torsi mesin (T_m) juga akan mempengaruhi variabel lainnya walaupun pada variabel tegangan masukan yang sama. Pada tegangan 340 Volt (tegangan jala-jala PLN drop hingga 10%) simulasi menghasilkan arus rotor dan arus stator turun 16,34%; putaran rotor naik 38,73%; torsi mesin sekitar 70,72%. Pada tegangan masukan 380 Volt (tegangan standar rata-rata jala-jala PLN) di dapat arus rotor dan arus stator turun 12,95%; putaran rotor naik 34,94%; torsi mesin sekitar 70,42%. Sedangkan pada

ITEKS
Intuisi Teknologi Dan Seni

=====

tegangan 420 Volt (tegangan jala-jala PLN naik hingga 10%) simulasi menghasilkan data arus rotor dan arus stator turun 21,43%; putaran rotor naik 30,47%; torsi mesin sekitar 77,74%. Analisa di atas didasarkan pada hasil perhitungan perangkat lunak MATLAB SIMULINK sehingga masih perlu dibuktikan dengan pengujian secara nyata dengan peralatan yang sebenarnya.

4. Kesimpulan Dan Saran

4.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan simulasi perangkat lunak MATLAB Simulink diatas dapat penulis simpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Pada tegangan 340 Volt (tegangan jala-jala PLN drop hingga 10%) simulasi menghasilkan arus rotor dan arus stator turun 16,34%; putaran rotor naik 38,73%; torsi mesin sekitar 70,72%.
- b. Pada tegangan masukan 380 Volt (tegangan standar rata-rata jala-jala PLN) di dapat arus rotor dan arus stator turun 12,95%; putaran rotor naik 34,94%; torsi mesin sekitar 70,42%.
- c. Saat tegangan 420 Volt (tegangan jala-jala PLN naik hingga 10%) simulasi menghasilkan data arus rotor dan arus stator turun 21,43%; putaran rotor naik 30,47%; torsi mesin sekitar 77,74%.

4.2. Saran

- a. Pemilihan jenis motor harus memperhatikan karakteristik beban yang digunakan agar penggunaannya menjadi lebih efisien.
- b. Data hasil simulasi dengan perangkat lunak dirasa masih sangat kurang untuk membuktikan karakteristik kinerja dari motor induksi tiga phasa dan masih harus dilakukan pengujian dengan peralatan secara langsung.

5. Referensi

- [1] Anthony Zuriman, 2014, Mesin Listrik AC, ITP, Situs : [http://sisfo.itp.ac.id/bahanajar/BahanAjar/ZurimanAnthony/Mesin Listrik AC/Bab III.pdf](http://sisfo.itp.ac.id/bahanajar/BahanAjar/ZurimanAnthony/Mesin%20Listrik%20AC/Bab%20III.pdf), Diakses : Sabtu, 30 Mei 2015 Pukul 12.00 WIB.
- [2] Zuhail, 1989, "Dasar Tenaga Listrik", Cetakan ke 6, ITB, Bandung.
- [3] Theraja B. L, 1979, "A Text Book of Electrical Technology", 17th Edition, Ram Nagar, New Delhi.
- [4] Sucitra, Tasma dan Leli Ahapip, 2002, Analisis Karakteristik Beban Nol Motor Induksi Rotor Sangkar Saat Pengasutan Menggunakan *Toolbox Power System Blockset* Program Simulasi Matlab Simulink, UPI, Situs : [http://file.upi.edu/Direktori/FPTK/JUR. PEND. TEKNIK ELEKTRO/196410071991011-TASMA_SUCITA/Artikel_Tasma_dan_Leli.pdf](http://file.upi.edu/Direktori/FPTK/JUR._PEND._TEKNIK_ELEKTRO/196410071991011-TASMA_SUCITA/Artikel_Tasma_dan_Leli.pdf), Diakses : Rabu, 15 Juli 2015 Pukul 07.48 WIB.
- [5] Riyadi, Aji Hari, 2004 Analisa Torsi Dan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Simulasi Matlab, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6] Siregar, Heysha Feronika, 2014, Analisis Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Pada Kondisi Tegangan Masuk Tidak Seimbang Lebih, Politeknik Negeri Medan, Medan.
- [7] Fitzgerald, Kingsley, Kusko, 1971, "Electric Machinery", Third Edition, Me Graw Hill Kogakhusa Ltd, Tokyo.
- [8] De Sarkar, A. K., 1970, "Digital Simulation of Three Phase Induction Motors", IEEE Trans. Power Apparature and System, pp 1031-1036.
- [9] Langsdorf, Alexander S, 1978, "Theory of Alternating Current and Machinery", Second Edition, Tata Me Graw Hill Ltd, New Delhi.

- =====
- [10] Soelaiman, Magarisawa Mabuchi, 1984, *“Mesin Tak Serempak Dalam Praktek”*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [11] _____, 2009, MATLAB, The Mathworks Inc. USA.
- [12] _____, 2014, Dasar-dasar Matlab, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang,
Situs : http://directory.umm.ac.id/Labkom_ICT/labkom/matlab/dasar2.pdf,
Diakses : Senin, 1 Juni 2015 Pukul 12.37 WIB.