

Analisa Kestabilan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis *Field Oriented Control* (FOC)

Dwi Rizky Irawan, Glanny M.Ch. Mangindaan, ST., MT., Ph.D., LiLy S. Patras, ST., MT.
Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado-95115,
Email: dwirizkyirawan@gmail.com, glanny_m@unsrat.ac.id, lilys_patras@yahoo.com

In this research the settings of 3 phase induction motor speed using the simulation of 3-phase induction motor analysis is being developed, it required to determine the performance characteristics of an induction motor in a variety of conditions as such as in the time of starting, the load changes or when an interruption occurs. The settings operated by Field Oriented Control (FOC) method to compare the high dynamic performance and the characteristics of a DC motor. This can make the exciting current and the burden of the motor controlled separately; hence torque and flux, as well as DC motor, can also be set separately.

The feedback result from the motor speed is compared the reference speed by a comparator. If there is an error, it becomes the input for the controller. Furthermore, the controller gives a signal to FOC system, which will be forwarded to the ignition circuit of an inverter to change the motor voltage and current, in order to obtain a desired torque. This torque changes will change the speed of the motor so that it can approach the reference speed. The platform used to simulate the electrical system settings are PSIM simulation.

Key Word : *Field Oriented Control (FOC), 3-phase induction motors, Flux and Torque Control, PSIM simulation.*

Dalam penelitian ini dikembangkan pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa dengan Simulasi mengenai analisis motor induksi 3 fasa diperlukan untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja motor induksi dalam berbagai kondisi seperti saat starting, saat terjadi perubahan beban maupun saat terjadi gangguan. Dalam pengaturan ini dioperasikan dengan metoda Field Oriented Control (FOC) bekerja dengan performansi dinamik yang tinggi yang sebanding dengan karakteristik dari motor DC. Dimana arus penguatan dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah, dengan demikian torsi dan fluksi juga dapat diatur secara terpisah, seperti halnya motor DC.

Kecepatan motor diumpun balikkan kemudian dibandingkan dengan kecepatan referensi oleh suatu komparator. Bila ada error, kemudian error tersebut menjadi input dari kontroller. Selanjutnya kontroller memberikan sinyal kepada sistem FOC, yang akan diteruskan ke rangkaian penyalan dari inverter untuk mengubah tegangan dan arus motor, sehingga diperoleh suatu torsi yang diinginkan. Perubahan torsi ini akan mengubah kecepatan motor sehingga bisa mendekati kecepatan referensi. Platform yang digunakan untuk

mensimulasikan pengaturan sistem ini adalah simulasi PSIM.

Kata kunci : Field Oriented Control (FOC), Motor induksi 3 fasa, Pengontrolan torsi dan fluksi, Simulasi PSIM.

I. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling banyak diaplikasikan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor ini memiliki konstruksi yang kuat, sederhana serta membutuhkan perawatan yang tidak banyak dibandingkan motor DC. Selain itu motor induksi juga memberikan efisiensi yang baik dan putaran konstan untuk tiap perubahan beban.

Motor-motor dasarnya diterapkan sebagai sumber beban untuk menjalankan alat-alat tertentu atau membantu manusia dalam melakukan tugasnya sehari-hari. Hal ini dimungkinkan karena motor jenis ini memiliki keunggulan-keunggulan baik dari segi teknis maupun ekonomis seperti memiliki konstruksi yang kokoh dan juga perawatannya mudah. Meskipun memiliki keunggulan seperti diatas, motor induksi juga mempunyai kelemahan antara lain motor induksi merupakan motor yang tidak linier, metode untuk mengatur kecepatan rumit, disamping itu diperlukan suatu converter yang dapat menimbulkan harmonisa.

Sehingga penulis mencoba membuat suatu pengaturan analisa dari kelamahan motor induksi diatas, dalam hal ini untuk menjaga performa dan kelayakan efisiensi motor agar dapat dipakai dalam waktu jangka panjang dengan kestabilan dan keandalan yang dapat dipertahankan. Dari permasalahan tersebut untuk mengestimasi atau mengurangi kelemahan motor digunakan suatu metode analisa dimana dapat mengubah system couple menjadi decouple, dengan system arus penguatan dan arus beban motor dapat dikontrol secara terpisah dengan demikian torka dan fluksi juga dapat diatur secara terpisah.

Dari permasalahan tersebut penulis mengangkat judul “ Analisa Kestabilan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis *Field Oriented Control* (FOC) “. Diharapkan memberi kontribusi terhadap upaya untuk terus mengembangkan metode pengaturan kecepatan pada motor induksi sehingga dapat meningkatkan

kinerja yang lebih baik dari sistem yang menggunakan motor induksi, dengan perbaikan kinerja sistem ini diharapkan meningkatkan efisiensi kerja pada dunia industri.

II. LANDASAN TEORI

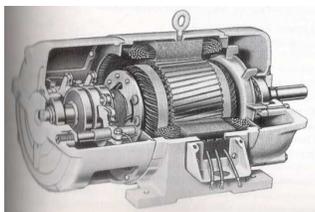
Motor listrik yang paling umum dipergunakan dalam perindustrian industri adalah motor induksi. Berdasarkan phasa sumber daya yang digunakan, motor induksi dapat diklasifikasi menjadi motor satu phasa dan motor tiga phasa. Motor induksi tiga phasa banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri, sedangkan motor induksi satu phasa banyak digunakan pada peralatan rumah tangga karena motor induksi satu phasa mempunyai daya keluaran yang rendah. Adapun beberapa keuntungan motor induksi dibandingkan motor lain adalah konstruksinya yang sederhana tetapi padat dan kuat, ukurannya lebih kecil dan lebih ringan sehingga harganya lebih murah, perawatan yang mudah dan memiliki efisiensi yang tinggi. Tetapi dalam hal pengaturan kecepatan dan pengontrolan torsi lebih sulit dilakukan dibandingkan motor DC. Tetapi seiring perkembangan teknologi dalam bidang elektronika daya, telah memungkinkan untuk menandingi motor DC dalam hal pengaturan kecepatan dan pengontrolan torsi.

A. Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam dan rotor bagian berputar. Stator dan rotor dipisahkan oleh celah udara yang jaraknya sangat kecil. Konstruksi motor induksi rotor belitan dapat dilihat pada gambar 1.

B. Medan Putar

Ketika belitan tiga phasa dari motor induksi diberi suplai maka medan magnet yang berputar akan dihasilkan. Medan magnet ini dibentuk oleh kutub-kutubnya yang berada pada posisi yang tidak tetap pada stator tetapi berubah-ubah mengelilingi stator. Adapun magnitude dari medan putar ini selalu tetap yaitu sebesar $1.5 \Phi_m$ dimana Φ_m adalah fluks yang disebabkan suatu phasa.



Gambar 1. Konstruksi motor induksi rotor belitan

Sumber : Purba J (2009), Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Phasa dengan *Direct Torque Control* dengan Menggunakan Matlab 7.0.1.

C. Prinsip Kerja

Adapun prinsip kerja motor induksi mengikuti langkah-langkah sebagai berikut;

- 1) Ketika tegangan AC dihubungkan pada kumparan stator, maka akan timbul medan putar dengan kecepatan, diberikan oleh persamaan 1.

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

- 2) Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
- 3) Sehingga pada kumparan rotor akan menimbulkan tegangan induksi sebesar E_r sebagaimana persamaan 2.

$$E_r = 4,44fN_2\phi_m \quad (2)$$

- 4) Karena rangkaian rotor tertutup maka ggl induksi tersebut akan menghasilkan arus
- 5) Adanya arus di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya pada rotor.
- 6) Bila torsi mula yang dihasilkan oleh gaya tersebut pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
- 7) Dari pernyataan 2 dan 3 terlihat bahwa syarat terbentuknya tegangan induksi haruslah ada perbedaan kecepatan relatif (slip) antara kecepatan medan putar stator (N_s) dan kecepatan putar rotor (N_r) yang dapat dituliskan dalam bentuk persamaan 3.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (3)$$

- 8) Bila $n_s = n_r$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan rotor, karenanya tidak dihasilkan kopel. Kopel ditimbulkan jika $n_r < n_s$.

D. Pengaturan Putaran Motor Induksi

Operasi putaran suatu motor induksi, diberikan oleh persamaan 4.

$$n_r = n_s (1 - s) = \frac{120f'}{p} (1 - s) \quad (4)$$

Dari persamaan 4 dapat dilihat bahwa pengaturan putaran pada motor induksi dapat dilakukan beberapa cara, yakni :

Mengubah jumlah kutub

Salah satu cara pengaturan putaran adalah dengan mengubah jumlah kutub p, dan ini hanya dapat memberikan perubahan putaran yang diskrit, karena p harus merupakan bilangan bulat. Dengan perencanaan yang benar dari rotor sangkar, hanya diperlukan untuk mengubah jumlah kutub dari belitan stator, bersamaan dengan itu arus akan rotor akan menemukan jalurnya masing-masing pada sangkar.

Mengubah frekuensi

Pengaturan frekuensi untuk mengendalikan putaran motor induksi biasanya dibarengi juga dengan pengaturan tegangan masuk yang sebanding dengan frekuensi. Dengan menggunakan inverter, yaitu suatu alat yang dapat mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik, frekuensi yang dapat dibuat berubah. Perubahan frekuensi arus bolak-balik dari inverter ini ditentukan oleh periode pulsa yang memicu penyearah yang digunakan. Dengan mempercepat atau memperlambat periode pulsa yang memicu penyearah, frekuensi dan juga kecepatan dapat diatur.

Mengubah tegangan stator

Pengaturan putaran dengan mengubah tegangan stator dapat dilakukan dengan mengatur vector tegangannya. Pengaturan vector tegangan ini menggunakan pengendalian umpan balik torsi dan fluks stator, fluks dan torsi dihitung dari tegangan dan arus stator yang diukur pada motor. Fluks dan torsi ini merupakan keadaan actual, yang akan dibandingkan dengan torsi dan fluks referensi untuk menentukan kondisi torsi error, fluks error dan posisi fluks stator. Dengan menggabungkan output torsi error, output fluks error, dan posisi fluks stator maka dapat diperoleh posisi switching inverter yang akan menentukan besar tegangan dan arus yang diberikan ke stator. Pengaturan ini dapat dilakukan dengan sistem model *Field Oriented Control* (FOC) dan pengaturan dengan metode ini akan dibahas lebih lanjut pada BAB berikutnya.

E. Induksi Timbal Balik (Mutual Induction)

Pada waktu arus meningkat, akan dibangkitkan medan magnet yang meluas. Garis-garis gaya magnet akan bergerak memotong penghantar disebelahnya dan menginduksikan **ggl** (gaya gerak listrik) ke dalamnya. Arah arus yang diinduksikan itu berlawanan dengan arah arus yang menginduksikan yang sedang meningkat. Peristiwa ini disebut dengan **induksi timbal balik** (*mutual induction*).

F. Efisiensi

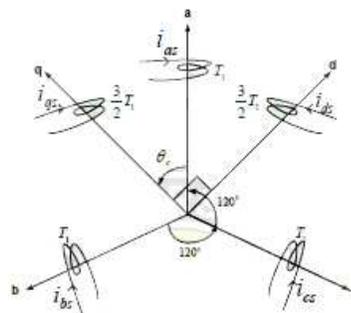
Efisiensi motor induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang dinyatakan sebagai perbandingan antara daya keluaran dan daya masukan dan biasanya dinyatakan dalam persen juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran dengan keluaran ditambah rugi - rugi, yang dirumuskan dalam persamaan 5.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{Loss}} \times 100\% \quad (5)$$

Pada beban-beban dengan nilai yang kecil, rugi-rugi tetap lebih besar dibandingkan dengan keluaran, untuk itu efisiensi yang dihasilkan rendah. Sebagaimana beban bertambah, efisiensi juga bertambah dan menjadi maksimum ketika rugi inti dan rugi variabel adalah sama. Efisiensi maksimum terjadi sekitar 80 – 95 % dari rating output mesin, dimana nilai yang lebih tinggi terdapat pada motor-motor yang besar. Jika beban yang diberikan melebihi beban yang menghasilkan efisiensi maksimum, maka rugi-rugi beban bertambah lebih cepat daripada output, konsekuensinya efisiensi berkurang.

G. Transformasi Tiga Fasa ke Dua Fasa

Model motor induksi yang dibahas sebelumnya adalah untuk mesin dua fasa. Mesin induksi dua-fasa jarang sekali digunakan dalam aplikasi industry, model dinamik motor induksi tiga fasa diturunkan dari mesin dua fasa. Kedua model ini ekuivalen karena kumparan pada dua fasa dan tiga fasa menghasilkan mmf (*magnetomotive force*) dan arus yang sama. belitan Kumparan stator motor dua fasa dan tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Kumparan stator motor dua fasa dan tiga fasa
Sumber : Purba J (2009), "Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan *Direct Torque Control* dengan Menggunakan Matlab 7.0.1

Dengan menganggap kumparan tiga fasa masing-masing memiliki jumlah belitan (T_f) per fasa. Untuk menghasilkan mmf yang sama maka kumparan dua fasa mempunyai jumlah belitan ($3T_f/2$) per fasa. Mmf pada sumbu $d-q$ didapat dengan memproyeksikan mmf (magnetomotive force) tiga fasa pada sumbu $d-q$.

III. METODOLOGI PENELITIAN

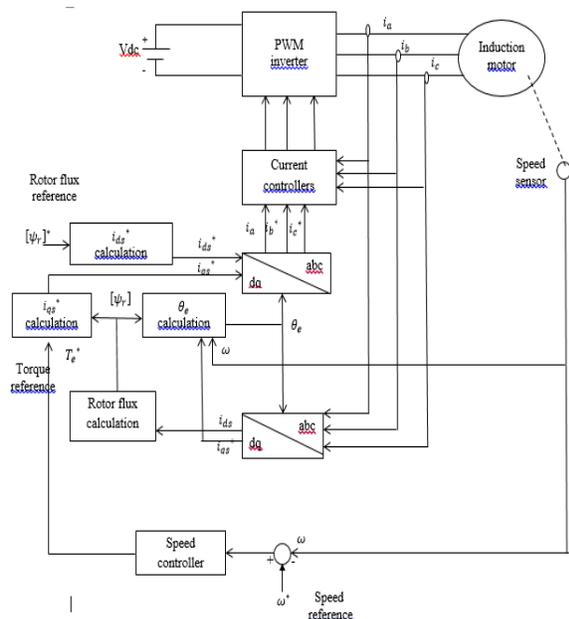
A. Lokasi Dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian, perencanaan serta proses perancangan alat bertempat di Laboratorium Teknik Tenaga Listrik dan Teknik Tegangan Tinggi Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi. Waktu dan lama penelitian berlangsung selama ± 4 bulan, dimulai dari bulan Januari 2016 sampai bulan Juli 2016.

B. Sistem Perencanaan

FOC (Field Oriented Control) ini merupakan pengontrolan penggerak motor ac, bekerja dengan performansi dinamik yang tinggi yang sebanding dengan karakteristik dari motor DC. Inverter beroperasi sebagai sumber arus tiga fasa yang kemudian akan menjadi sumber yang akan menggerakkan motor induksi tiga fasa. Fluks rotor dan torsi dapat dikontrol secara terpisah oleh arus stator direct-axis (i_{ds}) dan arus quadratur-axis (i_{qs}), secara berurutan. Besar arus quadratur-axis referensi (i_{qs}^*) dapat dihitung dengan torsi referensi. Perubahan torsi ini akan mengubah kecepatan motor sehingga bisa mendekati kecepatan referensi.

Blok diagram pengontrolan dengan Field Oriented Control ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Block Diagram Pengontrolan MI dengan FOC

Pada Gambar 3 dapat dilihat beberapa langkah dalam pengontrolan torsi dan fluks yaitu sebagai berikut :

- Pengontrolan motor induksi ini dilakukan dengan mengontrol parameter motor dalam besaran vector.
- Pengontrolan vector ini menggunakan pengendalian umpan balik torsi dan fluks stator.
- Fluks dan torsi dihitung dari tegangan dan arus stator yang diukur pada motor.
- Kecepatan dari motor dimonitor oleh suatu sensor, bisa juga menggunakan tachometer.
- Kecepatan motor diumpan balik kemudian dibandingkan dengan kecepatan referensi oleh suatu komparator.
- Bila ada error, kemudian error tersebut menjadi input dari controller. Selanjutnya controller memberikan sinyal kepada sistem FOC.
- Setelah itu akan diteruskan ke rangkaian penyalan dari inverter untuk mengubah tegangan dan arus motor, sehingga diperoleh suatu torsi yang diinginkan.
- Perubahan torsi ini akan mengubah kecepatan motor sehingga bisa mendekati kecepatan referensi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

Spesifikasi Motor Induksi yang digunakan dalam sistem eksperimental diperlihatkan Tabel I. Dimana nilai yang didapat dari hasil pengukuran dan perhitungan, sebagai berikut :

B. Simulasi Respon Sistem FOC

Untuk mengaplikasikan block diagram di atas dan untuk mempermudah dalam simulasi, saya menggunakan aplikasi PSIM. Dengan menggunakan parameter pada tabel I dan tabel II Simulasi program dilakukan dalam kondisi dinamik, yaitu simulasi perubahan kecepatan (*setpoint*) dalam mencapai kestabilan terhadap waktu dengan beban dan tanpa beban. Pada masing-masing kondisi tersebut diamati dan dianalisis kinerja motor induksi dari segi kecepatan motor terhadap waktu, Arus terhadap waktu, Torsi elektromagnetik terhadap waktu. Untuk menguji kemampuan kestabilan dan keandalan (*reliable*) model yang dikembangkan, maka respon sistem kontroler PI menggunakan metode FOC yang dirancang.

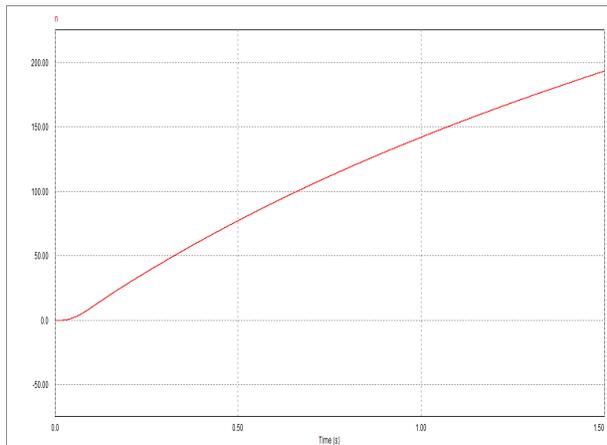
Simulasi dilakukan untuk kondisi dengan beban sebesar 10 Nm. Hasil simulasi untuk kondisi beban

TABEL I. PARAMETER MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

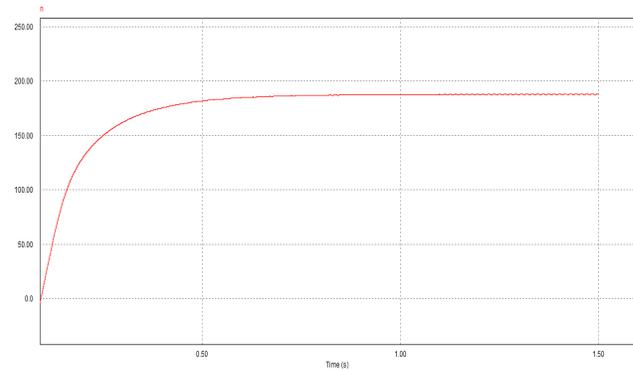
Poles P (poles)	4
Daya Output P_o (Watt)	1491
Tegangan (V)	380
Arus eksitasi i_{sd}^* (A)	4,6
Power Factor ($\cos \theta$)	0,79
Frekuensi f (Hz)	50
Putaran Refrensi n (rpm)	1415
Efisiensi η (%)	78
Slip s (%)	5,7
Resistansi Rotor R_r (Ω)	2,29
Resistansi Stator R_s (Ω)	4
Induktansi Rotor L_r (H)	0,035
Induktansi Stator L_s (H)	0,035
Mutual Induktansi L_m (H)	0,04
Torsi T (Nm)	10,06
Inertia I (kgm^2)	0,032

TABEL II. PARAMETER SISTEM KONTROL

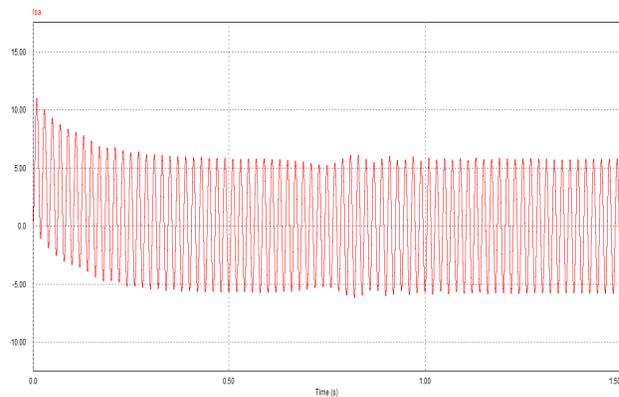
Current PI Proportional Gain K_p	16,065
Current PI Integral Gain K_i	10500
Current PI Integration Time T_i	0,0015 3
Current PI Cut-off Frequency ω_c	1500
Speed PI Proportional Gain K_{ps}	0,76
Speed PI Integral K_{is}	3,04
Speed PI Integration Time T_{is}	0,25
Speed PI Cut-off Frequency ω_{sc}	20
PI Proportional Gain $K_{p\omega}$	20
PI Integral Gain $K_{i\omega}$	20



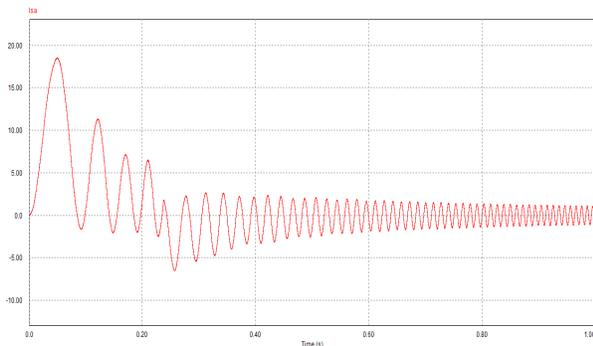
Gambar 4. Respon Kecepatan motor pada simulasi kestabilan dengan kecepatan referensi 185 rpm, beban tetap tanpa FOC.



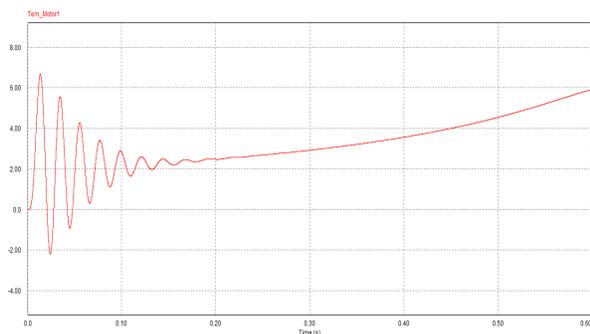
Gambar 5. Respon Kecepatan motor pada simulasi kestabilan dengan kecepatan referensi 185 rpm, beban dengan FOC.



Gambar 6. Respon Arus motor pada simulasi kestabilan, beban tetap tanpa FOC.



Gambar 7. Respon Arus motor pada simulasi kestabilan, beban tetap dengan FOC.



Gambar 8 Respon Torsi motor pada simulasi kestabilan, beban tetap tanpa FOC

dengan metode FOC dan tanpa FOC ditunjukkan pada Gambar grafik dibawah ini.

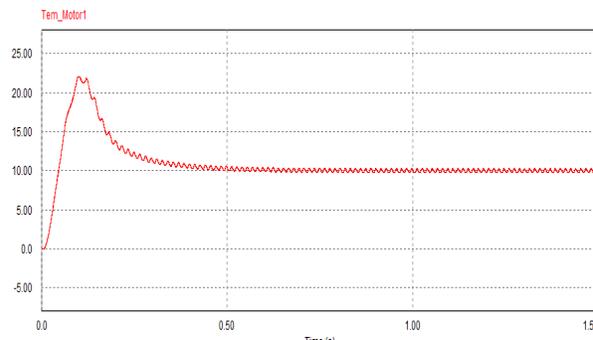
Pada grafik gambar 4 dapat kita lihat waktu dari start hingga mencapai nilai referensi membutuhkan waktu sekitar 1,6 detik overshoot yang cukup besar dibandingkan dengan grafik pada gambar 5 dapat kita lihat waktu dari start hingga mencapai nilai referensi memerlukan waktu sekitar 0,6 detik tanpa overshoot yang besar.

Pada grafik gambar 6 dapat kita lihat waktu yang diperlukan untuk mendapatkan kestabilan arus memerlukan waktu 1,2 detik dengan besaran arus mencapai 5,3 A nilai yang cukup besar, dibandingkan dengan grafik pada gambar 7 dengan FOC waktu yang diperlukan untuk mendapatkan kestabilan arus memerlukan waktu 0,5 detik dengan besaran arus mencapai 1,95 A lebih kecil.

Pada grafik gambar 8 dapat kita lihat waktu yang diperlukan untuk mendapatkan kestabilan torsi motor 0,6 detik dengan overshoot, dibandingkan dengan grafik pada gambar 9 dengan FOC memerlukan waktu 0,38 tanpa overshoot

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan



Gambar 9. Respon Torsi motor pada simulasi kestabilan, beban tetap dengan FOC.

- 1) *Field Oriented Control* (FOC) berhasil diterapkan untuk mengatur torsi dan fluks dari motor induksi secara terpisah seperti pada pengaturan motor arus searah (DC).
- 2) Penggunaan *Field Oriented Control* (FOC) pada kondisi berbeban, menunjukkan performansi respon yang lebih baik, dengan menghasilkan nilai rise time, steady state dan overshoot yang sangat kecil dengan memerlukan waktu yang tidak lama dan singkat untuk mendapatkan kestabilan kecepatan motor yang handal.
- 3) Dari simulasi sistem pada respon grafik diatas seperti yang ditunjukkan terlihat bahwa dengan menggunakan metode FOC mampu memberikan kinerja perform motor yang lebih baik yang dapat mempengaruhi jangka waktu pemakaian motor lebih lama dengan kehandalan yang tetap terjaga dibandingkan tanpa menggunakan pengontrolan.
- 4) Penggunaan simulasi sangat membantu memahami perilaku motor induksi karena pada kenyataannya sistem motor induksi multivariabel, tidak linier dan bervariasi terhadap waktu.

B. Saran

- 1) Oleh karena Tugas Akhir ini berupa simulasi, jadi untuk lebih memperjelas kehandalan pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan *Field Oriented Control* dapat dilakukan dengan percobaan langsung dilapangan.
- 2) Tugas akhir ini dapat dikembangkan kembali dari segi pengontrolan, starting motor dan perbandingan antara pengontrolan dengan yang lainnya selain menggunakan FOC yang masih bisa dikembangkan kembali agar mendapatkan hasil respon yang lebih efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Jeremia, "Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa dengan *Direct Torque Control* dengan Menggunakan Matlab 7.0.1", Skripsi Program S1 Teknik Elektro Universitas Sumatera Utara, Medan, 2009.
- [2] G.M.Ch. Mangindaan, "*Study on Simplified Speed Sensorless Vector Control Systems for Induction Motors*", Citation Nagasaki University (長崎大学), 博士(工学), 2015.
- [3] M. Nobuyoshi, K. Satoru, M. Taizou i, M. Ryosou, and O. Sanshiro, (1997), "*A Torque Controller Suitable for Electric Vehicles*", IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 44, no. 1.
- [4] T. Rajesh, Sanjeev Gupta, S. P. Phulambikar, "*Field Oriented Control of Single Phase Induction Motor*," Samrat Ashok Technological Institute India, India, 2014.
- [5] F. Rizana, H. Dedid, S. Indra, "Pengembangan *PI Controller* Sebagai Kendali Respon Cepat Pada Motor Induksi 3 Fasa Berbasis *Indirect Field Oriented Control (IFOC)*" Skripsi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 2014.



Dwi Rizky Irwan lahir Mei 1993 pada tahun 2011 memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2013. Dalam menempuh pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di PT. Industri Kapal Indonesia pada Februari 2015 dan selesai melaksanakan pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado Juli 2016, minat penelitiannya adalah tentang analisa kestabilan kecepatan motor Induksi 3 Fasa berbasis *Field Oriented Control (FOC)*.