

Analisis Pengaruh Arus Medan (id current axis) Terhadap Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Metode Field Oriented Control (FOC)

Indra Ferdiansyah^{1*}, Lucky Pradigta Setiya Raharja², Era Purwanto³
^{1,2,3}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

*indraferdi@pens.ac.id

Abstract

The use of 3-phase induction motor as the electric drive is very popular because of the cheaper price, robust construction, and free maintenance, but it has a characteristic that is not linear so it is hard in settings. Some of the developed methods are expected to obtain efficient regulation. Field Oriented Control (FOC) is one of the developed methods in the setting of an induction motor. By implementing dq coordinate setting, field current (id) and torque (iq) can be set separately. This study aims to determine the effect of the field current (ids *) to motor performance with FOC-based settings. From the simulation results, it can be seen that the larger (ids *), it affects the rotor rotation that is going down, but it also affects the motor performance to reach the steady state and overshoot of the motor response. To ids * = 0.8A takes 1.06s to reach a steady state with overshoot reached 977.5 rpm at a constant speed 350Rpm, ids * = 1.6a overshoot takes 2.24s to reach 708 rpm at a constant speed 350Rpm, ids * = 4.1A requires time 2.282s with overshoot reached 512.5 330Rpm rpm at a constant speed.

Keywords: Induction Motor, FOC, Field Current (id), Motor Speed, Motor Performance.

Abstrak

Penggunaan motor induksi 3 fasa sebagai penggerak listrik sangat populer dikarenakan harga yang lebih murah, konstruksi kokoh dan bebas perawatan, akan tetapi memiliki karakteristik tidak linear sehingga susah dalam pengaturannya. Beberapa metode yang dikembangkan diharapkan mampu mendapatkan pengaturan yang efisien. Field Oriented Control (FOC) salah satu metode yang dikembangkan dalam pengaturan motor induksi, dengan menerapkan pengaturan koordinat dq arus medan(id) dan torsi(iq) dapat diatur secara terpisah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus medan (ids*) terhadap kinerja motor dengan pengaturan berbasis FOC. Hasil simulasi dapat diketahui bahwa semakin besar (ids*) berpengaruh pada putaran rotor yang akan turun, selain itu juga berpengaruh pada kinerja motor untuk mencapai kondisi steady dan overshoot dari respon motor tersebut. Untuk ids*=0.8A memerlukan waktu 1.06s untuk mencapai kondisi steady dengan overshoot mencapai 977.5 Rpm pada kecepatan konstan 350Rpm, ids*=1.6A memerlukan waktu 2.24s dengan overshoot mencapai 708 Rpm pada kecepatan konstan 350Rpm, ids*=4.1A memerlukan waktu 2.282s dengan overshoot mencapai 512.5 Rpm pada kecepatan konstan 330Rpm.

Kata kunci: Motor Induksi 3 Fasa, FOC, Arus Medan (Id), Kecepatan Motor, Performa Motor.

1. Pendahuluan

Pada saat ini, perkembangan motor induksi sebagai motor penggerak paling banyak digunakan dalam bidang industri.

dengan harganya yang relative lebih murah, konstruksi yang kokoh, dan bebas perawatan menjadi pilihan utama para pengguna motor tersebut. Dengan beberapa kelebihanya

tersebut dalam akhir-akhir ini mulai terus dikembangkan metode-metode dalam pengoprasian motor tersebut sebagai penggerak listrik yang optimal sesuai dengan harapan sistem tersebut. Meskipun banyak kelebihan yang dimiliki motor induksi, namun terdapat juga beberapa kekurangan yang dimiliki pada motor tersebut, yaitu karakteristiknya yang non-linear membuat motor ini susah untuk dikendalikan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan, sehingga memerlukan metode-metode pengaturan yang baik untuk mendapatkan sistem penggerak sesuai dengan yang diharapkan [1]. Ada 2 cara pengaturan motor induksi yang sering digunakan, yaitu berbasis scalar control dan vector control.

Pengaturan berbasis skalar kontrol motor akan diatur magnitude dan amplitude atau besaran tegangan dan frekuensi (V/F) yang masuk ke motor baik secara konstan maupun secara variabel agar didapatkan kecepatan sesuai yang diharapkan [2]. Pada impletasinya diketahui pada pengaturan scalar memiliki beberapa kekurangan yaitu apabila motor pada kondisi *transient* karena pada teknik pengaturan scalar tidak memperhitungkan perhitungan secara kompleks pada saat kondisi *real time*.

Sedangkan pengaturan vector kontrol pada motor induksi 3 fasa dilakukan dengan memperhitungkan secara kompleks dengan menggunakan perhitungan melalui teknik *space vector* dengan cara merubah dari sistem *coupeled* menjadi sistem *decoupeled*, kemudian pada sistem tegangan 3 fasa diubah menjadi sistem 2 fasa stationary, kemudian diubah lagi menjadi sistem 2 fasa rotationary menggunakan transformasi clark dan transformasi park atau yang lebih dikenal dengan sistem koordinat d,q. Sehingga mampu melakukan pengaturan flux dan torsi secara terpisah seperti pengaturan yang dilakukan pada motor DC agar didapatkan pengaturan yang lebih akurat [3].

Pada paper ini akan dibahas simulasi menggunakan metode *Field Oriented Control* (FOC) pada pengaturan motor induksi 3 fasa

untuk diketahui pengaruh arus medan (i_d) terhadap kinerja motor induksi. Diasumsikan kerapatan fluxsi berpengaruh pada besar arus medan yang menyebabkan putaran rotor menurun sehingga dapat mempengaruhi kecepatan motor.

2. Metoda Penelitian

2.1. Vektor Kontrol

Pengaturan menggunakan metode vector control kemudian dikembangkan lagi menjadi beberapa metode lainnya seperti *Field Oriented Control* (FOC) dan *Direct Torque Control* (DTC) kedua metode ini sama-sama dapat digunakan sebagai pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa, dengan beberapa kelebihan dan kekurangan masing-masing. FOC adalah pengaturan berbasis pada pengaturan medan atau flux motor induksi yang akan mempengaruhi kecepatan putaran dari motor tersebut[4]. Diasumsikan bahwa semakin besar nilai flux maka arus medan yang dibangkitkan semakin besar juga sehingga berpengaruh pada putaran rotor yang menyebabkan kecepatan motor menurun.

DTC adalah sebuah pengaturan torsi secara langsung yang nanti keluaran dari sistem ini digunakan untuk mengatur switching pada proses penyalaan inverter. Pengaturan menggunakan metode ini juga memerlukan torsi estimator untuk melakukan *torque calculated* pada sistemnya. Dari kedua metode diatas masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan, pengaturan menggunakan cara DTC lebih cocok untuk motor yang memerlukan torsi besar pada kecepatan tinggi, akan tetapi apabila digunakan pada kecepatan rendah memiliki kekurangan yaitu suaranya yang berisik, *ripple* tinggi kemudian arus yang dikonsumsi cukup besar[5].

2.2. Penerapan FOC

Field Oriented Control (FOC) adalah suatu metode pengaturan medan pada motor induksi, di mana dari sistem *coupled* diubah menjadi sistem *decoupled*. Dengan sistem ini arus penguatan dan arus beban motor dapat

dikontrol secara terpisah, dengan demikian flux dan torsi juga dapat diatur secara terpisah, seperti halnya motor DC [1][6].

Pada Pengaturan ini, kecepatan dari motor dimonitor oleh suatu sensor, bisa juga menggunakan tachometer. Kecepatan motor diumpam balikkan kemudian dibandingkan dengan kecepatan referensi oleh suatu komparator. Bila ada error, kemudian error tersebut menjadi input dari *controller*. Selanjutnya kontrol memberikan sinyal kepada sistem FOC, yang akan diteruskan ke rangkaian penyalan dari inverter untuk mengubah tegangan dan arus motor, sehingga apabila besar arus medan dikalikan arus torsi maka menghasilkan kecepatan motor sehingga bisa mendekati kecepatan referensi [7].

Fluks rotor dan torsi dapat dikontrol secara terpisah oleh arus stator direct-axis (i_{ds}) dan arus quadratur-axis (i_{qs}) secara berurutan. dengan L_r adalah induktansi rotor, L_m adalah induktansi mutual, dan r adalah fluks linkage rotor estimasi, yang diperoleh dari persamaan berikut [4] [8]:

$$\lambda_r = \frac{L_m i_{ds}}{1 + \tau_r s} \tag{1}$$

dengan $\tau_r = \frac{L_r}{R_r}$ adalah konstanta waktu rotor.

Besarnya arus direct-axis stator referensi i_{ds}^* adalah tergantung dari input fluks referensi λ_r^* yaitu:

$$i_{ds}^* = \frac{\lambda_r^*}{L_m} \tag{2}$$

Besar arus quadratur-axis referensi (i_{qs}^*) dapat dihitung dengan dengan torsi referensi T_e^* menggunakan persamaan berikut:

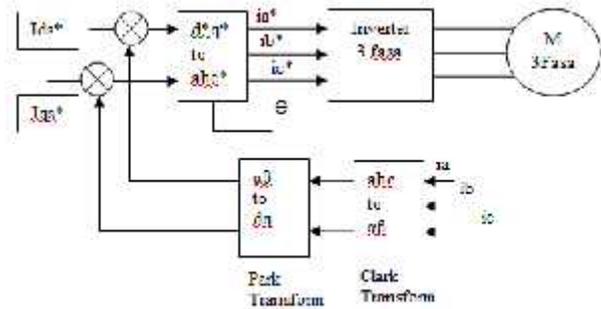
$$i_{qs}^* = \frac{2}{3} \times \frac{2}{p} \times \frac{L_r}{L_m} \times \frac{T_e^*}{\lambda_r^*} \tag{3}$$

Sudut flux rotor e untuk transformasi koordinat diperoleh dari perhitungan antara kecepatan putaran rotor ω_m dan kecepatan slip ω_{sl} , dengan persamaan berikut:

$$\theta_e = \int (\omega_m + \omega_{sl}) dt \tag{4}$$

kecepatan slip diperoleh dari perhitungan arus stator referensi i_{qs}^* dengan parameter motor berikut:

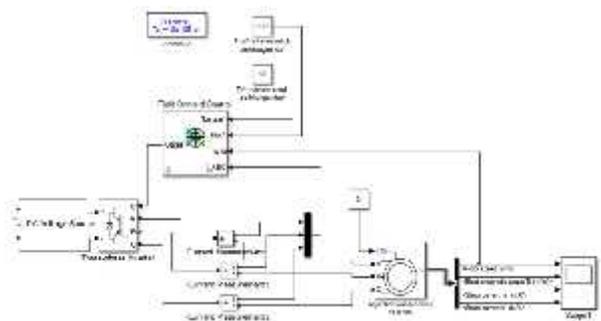
$$\omega_{sl} = \frac{L_m}{\lambda_r^*} \times \frac{R_r}{L_r} \times i_{qs}^* \tag{5}$$



Gambar. 1. Blok Sistem Pengaturan Motor Induksi Model Koordinat d,q.

2.3. Pemodelan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan SIMULINK MATLAB

Pada paper ini dibuat sebuah model simulasi motor induksi 3 fasa dengan penerapan sistem *Field Oriented Control (FOC)*, dengan tujuan untuk mengetahui performa kerja motor tersebut dari pengaruh arus medan terhadap perubahan flux.

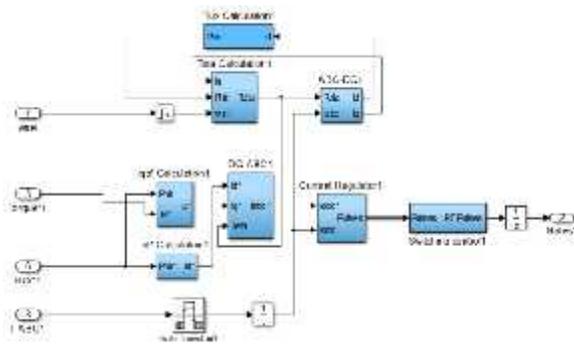


Gambar. 2. Pemodelan motor induksi 3 fasa berbasis FOC menggunakan simulink matlab

Data motor induksi 3 fasa yang digunakan pada simulasi ini adalah sebagai berikut:

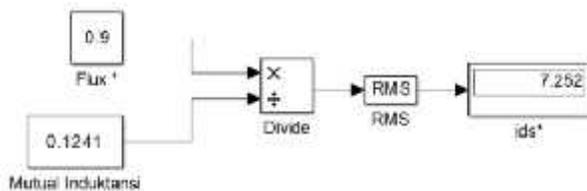
Tabel 1. Data Spesifikasi Motor Induksi

No.	Parameter Motor	Spesifikasi
1	Tegangan	400 V
2	Daya	7.5 kW
3	Frekuensi	50 Hz
4	Kecepatan Rotor	1440 Rpm
5	Tipe Rotor	Squirel Cage
6	Tahanan Rotor	0.7402
7	Tahanan Stator	0.7384
8	Induktansi Rotor	0.003045 H
9	Induktansi Stator	0.003045 H
10	Mutual Induktansi	0.1241 H
11	Jumlah Psang Kutub	2
12	Inersia	0.0343

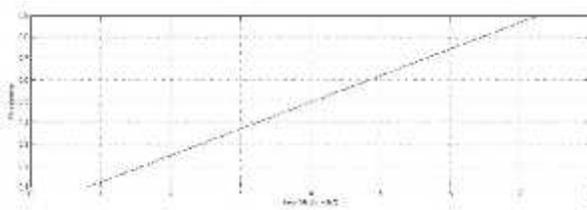


Gambar. 3. Simulink sistem FOC

Pengaruh *flux* terhadap arus medan berdasarkan pernyataan yang ditunjukkan pada persamaan (2), dapat diasumsikan bahwa besar nilai flux akan berpengaruh pada arus medan yang dibangkitkan. Berikut simulasi pengaruh besar flux terhadap arus medan (i_{ds}^*).



Gambar. 4. Simulink pengaruh flux terhadap arus medan (i_{ds}^*)



Gambar 5. Hasil simulasi perubahan flux terhadap arus medan (i_{ds}^*)

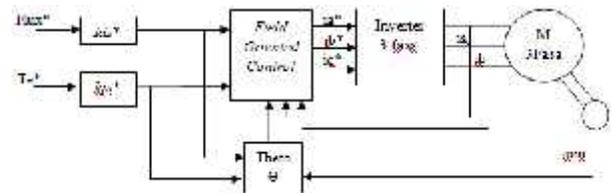
Dari hasil diatas diketahui bahwa besar flux sebanding lurus dengan besar arus medan (i_{ds}^*). Apabila jumlah flux semakin diperbesar, mengakibatkan penguatan pada arus medan yang berpengaruh pada putaran rotor sehingga kecepatan akan menurun.

$$\omega_r = \theta - \int \left[\left(\frac{i_{qs}^*}{i_{ds}^*} \right) \frac{R_r}{L_r} \right] dt \quad (6)$$

3. Hasil Penelitian

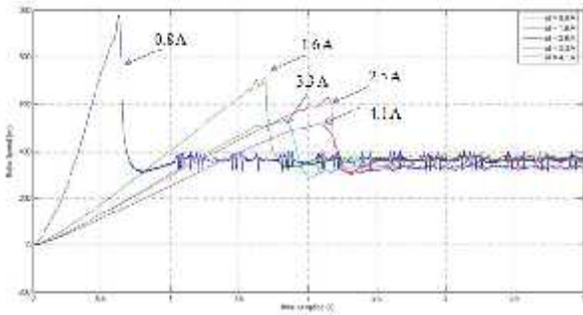
3.1. Sistem Pengaturan FOC

Berdasarkan blok diagram pada gambar 6, diketahui bahwa dengan menggunakan metode FOC besaran flux dan torsi dapat diatur secara terpisah. Nilai flux akan mempengaruhi arus medan (i_{ds}^*) dan nilai torsi akan mempengaruhi arus torsi (i_{qs}^*).



Gambar 6. Blok diagram desain sistem secara umum

Pada simulasi ini besar torsi referensi T_e^* diberi nilai tetap sedangkan flux referensi diberi nilai berubah-ubah untuk mengetahui pengaruh arus medan terhadap kinerja motor induksi. Output dari sistem FOC dikonversi menjadi arus i_{as}^* , i_{bs}^* , i_{cs}^* yang akan menjadi input regulator arus, kemudian regulator arus akan memproses arus fasa referensi menjadi sinyal pemacu yang digunakan untuk mengontrol inverter sebagai penggerak motor. Sensor kecepatan digunakan untuk memantau kinerja motor induksi dalam hal ini perubahan kecepatan motor tersebut terhadap perubahan arus medan. Detail respon kinerja motor terhadap perubahan i_{ds}^* dapat pada gambar 7 dan tabel 2.



Gambar 7. Hasil simulasi kecepatan motor induksi terhadap perubahan arus medan (i_{ds}^*)

Tabel 2. Performa Motor Induksi Terhadap Perubahan Arus Medan (ids)

No.	Field Current	Time Steady	Overshoot	Speed Constant
1	0.8 A	1.06 s	977.5 Rpm	350 Rpm
2	1.6 A	2.24 s	708 Rpm	
3	2.5 A	2.75 s	630 Rpm	
4	3.3 A	2.8 s	531 Rpm	330 Rpm
5	4.1 A	2.82 s	512.5 Rpm	

Pengaturan berbasis FOC motor induksi 3 fasa dengan memberikan nilai yang bervariasi pada arus medan (i_{ds}^*) berpengaruh terhadap kinerja motor, yaitu pada kecepatan putar rotor dan waktu motor untuk mencapai kondisi *steady*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa semakin besar arus medan (i_{ds}^*) yang diberikan pada sistem FOC berpengaruh terhadap putaran rotor, semakin besar nilai (i_{ds}^*) yang diberikan mengakibatkan kecepatan rotor menurun. Pada simulasi ini, pengaturan dilakukan dengan mengatur arus medan dan arus torsi secara terpisah, besar arus torsi (i_{qs}^*) dijaga secara konstan, sedangkan untuk arus medan (i_{ds}^*) diberikan nilai secara variabel untuk mengetahui pengaruh arus medan (i_{ds}^*) terhadap kinerja motor induksi 3 fasa.

Selain berpengaruh terhadap putaran rotor, besar arus medan (i_{ds}^*) yang diatur juga berpengaruh pada kinerja motor untuk mencapai kondisi *steady* pada kecepatan konstan dari motor tersebut, dari Gambar 7

dapat dilihat bahwa semakin besar nilai i_{ds}^* maka semakin lama untuk mencapai kondisi *steady* tetapi *overshoot* dari respon motor kecil sedangkan apabila nilai i_{ds}^* kecil maka semakin cepat untuk mendapatkan kondisi *steady* tetapi respon motor akan mengalami *overshoot* yang sangat tinggi. Untuk $i_{ds}^* = 0.8A$ memerlukan waktu 1.06s untuk mencapai kondisi *steady* dengan *overshoot* mencapai 977.5 Rpm pada kecepatan konstan 350Rpm, untuk $i_{ds}^* = 1.6A$ memerlukan waktu 2.24s dengan *overshoot* mencapai 708 Rpm pada kecepatan konstan 350Rpm.

5. Saran

Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut untuk menerapkan sistem FOC pada pengaturan kecepatan motor induksi sehingga dapat dilakukan pengaturan motor induksi seperti halnya motor DC dengan pengaturan torsi dan fluksi secara terpisah.

6. Daftar Pustaka

- [1] Era Purwanto, Novie Ayub Windarko Indra Ferdiansyah, "Fuzzy gain scheduling of PID (FGS-PID) for speed control three phase induction motor based on indirect field oriented control (IFOC)," *EMITTER International Journal of Engineering Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 237-258, December 2016.
- [2] Era Purwanto, Novie Ayub Windarko Indra Ferdiansyah, "Design of Proportional Integral Controllers for Speed Control of Three Phase Induction Motor Based on Direct-Axis Coordinate Using Indirect Field Oriented Control," *INTERNATIONAL JOURNAL ON ENGINEERING APPLICATIONS (IREA)*, vol. 4, no. 5, pp. 143-148, Dec. 2016.
- [3] K. Mahadevan M.B. Joseph G, "A Reliable Vector Control Method : IFOC for Three Phase Induction Motor Drives Using SVPWM," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 10, no. 6, 2015.
- [4] Muhammad Rizani Rusli, Bayu Praharsena, Handri Toar, Ridwan, Era Purwanto Indra Ferdiansyah, "Speed Control of Three Phase

- Induction Motor Using Indirect Field Oriented Control Based on Real-Time Control System," in *2018 10th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Bali Indonesia, 2018, pp. 438-442.
- [5] Jesus Liceage C, Eduardo L.C L. Amezquita B, "Speed and Position Controllers Using Indirect Field Oriented Control: A Classical Control Approach," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 4, 2014.
- [6] Era Purwanto, Arman Jaya, Muhammad Rizani Rusli, Handri Toar, Angga Aditya, Indra Ferdiansyah, Novrian Eka Sandhi Bayu Praharsena, "Evaluation of Hysteresis Loss Curve on 3 Phase Induction Motor by Using Cascade Feed Forward Neural Network," in *International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA)*, Bali, 2018, pp. 117-122.
- [7] Bilal Akin, *State Estimation Technique For Speed Sensorless Field Oriented Control of Induction Motors.*: School of Natural and Applied Sciences, 2013.
- [8] Muhammad Rizani Rusli, Bayu Praharsena, Era Purwanto, Dedid Cahya Happyanto, Bambang Sumantri Angga Wahyu Aditya, "The Performance of FOSMC and Boundary - SMC in Speed Controller and Current Regulator for IFOC-Based Induction Motor Drive," in *International Seminar on Application for Technology of Information and Communication*, Semarang, 2018, pp. 139-144.