

## FIELD ORIENTED CONTROL SEBAGAI PENGGERAK MOTOR INDUKSI PADA MESIN CUCI

Aripriharta

**Abstrak:** Paper ini membahas tentang kendali kecepatan motor induksi 3 fasa dengan metode *Field Oriented Control (FOC)* dengan beban berupa drum mesin cuci. Penelitian lebih difokuskan pada model dinamis dan performa sistem. Metode validasi yang digunakan adalah metode simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode FOC dapat bermanuver dengan perubahan torsi dan kecepatan motor induksi dengan respon yang relatif cepat.

**Kata kunci:** *ac drives*, DFOC, mesin cuci, motor induksi

Metoda *vector control* atau *field oriented control (FOC)* dapat mengoperasikan motor induksi seolah-olah sebagai motor yang linier (dengan batasan aproksimasi). Pada metode ini, pengaturan kecepatan putar motor melalui kontrol torsi atau medan dengan mempertahankan daya motor [9] dan banyak digunakan dalam proses industri.

FOC membuat *ac-drives* menjadi semakin populer, sehingga motor induksi semakin menggeser pemakaiannya motor dc dalam industri. FOC telah banyak digunakan di beberapa produk industri dengan teknik penyelesaian yang berbeda [7],[8], salah satunya adalah mesin cuci [3].

Pada mesin cuci, FOC diperlukan untuk mengatur putaran drum yang dikopel dengan *shaft* motor induksi 3 fasa [1], [2], [3], [4], [5], [6]. FOC diperlukan untuk memperbaiki respon sistem, utamanya saat perubahan putaran (manuver) yang tiba-tiba, terutama pada mesin cuci modern [1]. Algoritma proses pencucian, mulai dari memutar untuk membuat cucian basah dengan kecepatan tertentu, dipercepat saat memberi deterjen dan pewangi. Kemudian diayunkan dan diputar lagi, setelah beberapa menit diputar dengan kecepatan tinggi, setelah itu tiba-tiba berhenti. Selanjutnya, diputar dengan arah berlawanan dengan cepat. Proses perubahan kecepatan atau pengereman yang

tiba-tiba, maupun putaran yang halus, memerlukan kontrol yang baik, agar tidak terjadi osilasi pada torsi maupun kecepatan putarnya. Inilah yang menjadi alasan utama para produsen mesin cuci memilih *vector control* sebagai solusinya [5].

Selanjutnya, berdasarkan fakta-fakta yang telah disebutkan, masalah yang dibahas pada paper ini adalah performa motor induksi yang dikendalikan dengan metode *FOC*. Penelitian lebih difokuskan pada model dinamis dan performa sistem. Metode validasi yang digunakan adalah metode simulasi.

### Field Oriented Control (FOC)

Rangkaian ekivalen motor induksi dalam koordinat *d-q* pada Gambar 1. Model *d-q* motor induksi merupakan dasar pengaturan kecepatan motor induksi dengan metode *vector control*. [10],[11],[14]. Sistem koordinat tiga fasa statis ditransformasikan ke koordinat dinamis *d-q*, koordinat ini berputar mengikuti kecepatan sinkron motor atau medan putar stator. [12],[13]. Dengan transformasi ini didapatkan model motor induksi yang lebih sederhana, model tegangan dan arus pada persamaan ini merupakan variabel dengan referensi koordinat *d-q*, transformasi tegangan tiga fase ke koordinat *d-q* menggunakan transformasi Park seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(-\theta) & \cos\left(-\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(-\theta + \frac{4\pi}{3}\right) \\ \sin(-\theta) & \sin\left(-\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(-\theta + \frac{4\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad [1]$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{ds} \\ \dot{I}_{qs} \\ \dot{I}_{dr} \\ \dot{I}_{qr} \end{bmatrix} = \frac{1}{D} \begin{bmatrix} -R_s L_r & \omega_r M^2 & R_r M & \omega_r L_r M \\ -\omega_r M^2 & -R_s L_r & -\omega_r L_r M & R_r M \\ R_s M & -\omega_r L_r M & -R_r L_s & -\omega_r L_r L_s \\ \omega_r L_r M & R_s M & \omega_r L_r L_s & -R_r L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ds} \\ I_{qs} \\ I_{dr} \\ I_{qr} \end{bmatrix} + \frac{1}{D} \begin{bmatrix} L_r & 0 & -M & 0 \\ 0 & L_r & 0 & -M \\ -M & 0 & L_s & 0 \\ 0 & -M & 0 & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ V_{dr} \\ V_{qr} \end{bmatrix}; D = L_r L_s - M^2 \quad [2]$$

dengan persamaan torsi elektromagnetik motor ( $T_e$ ) berikut ini:

$$T_e = \frac{3}{2} PM (i_{dr} i_{qs} - i_{ds} i_{qr}) \quad [3]$$

$$\frac{J}{P} \frac{d}{dt} \omega_r + K_d \omega_r = T_e - T_L \quad [4]$$

$$\frac{d}{dt} \theta_r = \omega_r \quad [5]$$

Persamaan tegangan stator dalam sumbu  $d$  dan  $q$  adalah  $v_{sd}$  dan  $v_{sq}$ , pengendali yang digunakan adalah pengendali PI, namun pengendali ini hanya dapat mengendalikan sistem yang linier, sehingga  $v_{sd}$  dan  $v_{sq}$  harus dilinierisasi dengan menggunakan dekopling.

$$v_{sd} = u_{sd} + v_{cd}; v_{sq} = u_{sq} + v_{cq} \quad [5]$$

$$u_{sd} = R_s i_{sd} + L_s \sigma \frac{d}{dt} i_{sd}; u_{sq} = R_s i_{sq} + L_s \sigma \frac{d}{dt} i_{sq} \quad [6]$$

$$v_{cd} = -\omega_r L_s \sigma i_{sq} + L_s (1 - \sigma) \frac{d}{dt} i_{mr} \quad [7]$$

$$v_{cq} = \omega_r L_s \sigma i_{sd} + L_s (1 - \sigma) \omega_r i_{mr} \quad [8]$$

Persamaan fluks *model* [10] adalah

$$\frac{d}{dt} i_{mr} = \frac{R_r}{L_r} (i_{sd} - i_{mr}) \quad [9]$$

$$\omega_e = p \omega_r + \frac{R_r i_{sq}^*}{L_r i_{mr}} \quad [10]$$

$$\frac{d}{dt} \theta_e = \omega_e \quad [11]$$

## METODE

### Simulasi

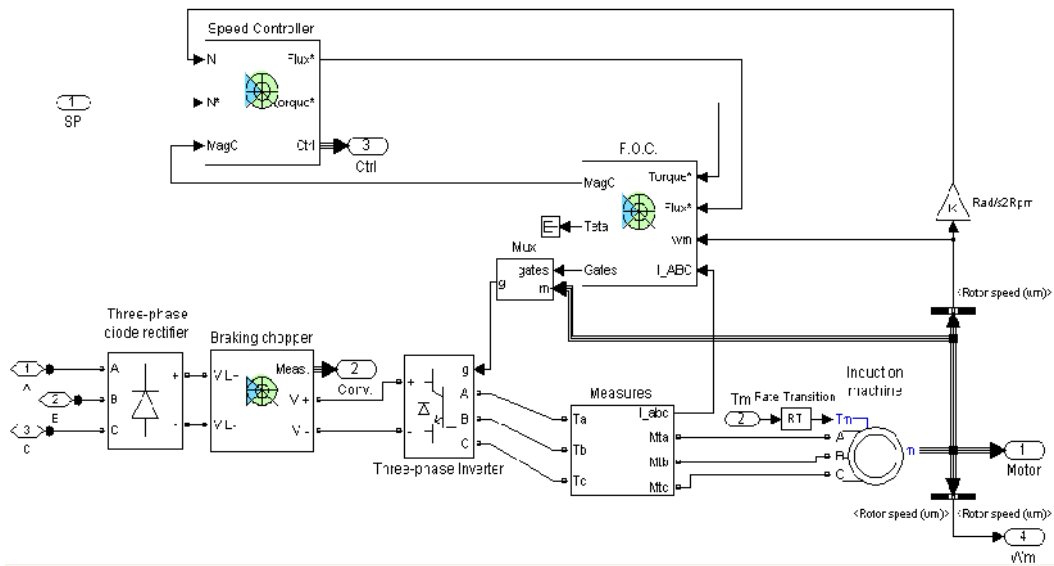
Sistem yang didiskusikan dalam paper ini adalah kendali kecepatan drum mesin cuci yang digerakkan oleh motor induksi tiga fasa rotor sangkar dengan inverter SVPWM yang berbasis metode *FOC* sebagai kendalinya [7]. Mesin cuci dimodelkan dengan pendekatan bahwa struktur mekanik sistem *gearbox* pada drum mesin cuci diabaikan. Drum diasumsikan diko-pel langsung dengan shaft motor induksi 3 fasa rotor sangkar. Drum dianggap sebagai beban dengan karakteristik *constant power* sebesar 1,5 kW. Motor induksi 3 fasa rotor sangkar yang digunakan dilengkapi dengan *optical encoder* sebagai tachogenerator, dengan *shaft* yang dikopel dengan beban [6].

Pemodelan matematis disederhanakan dengan menggunakan toolbox Matlab (gambar 1 dan 2).

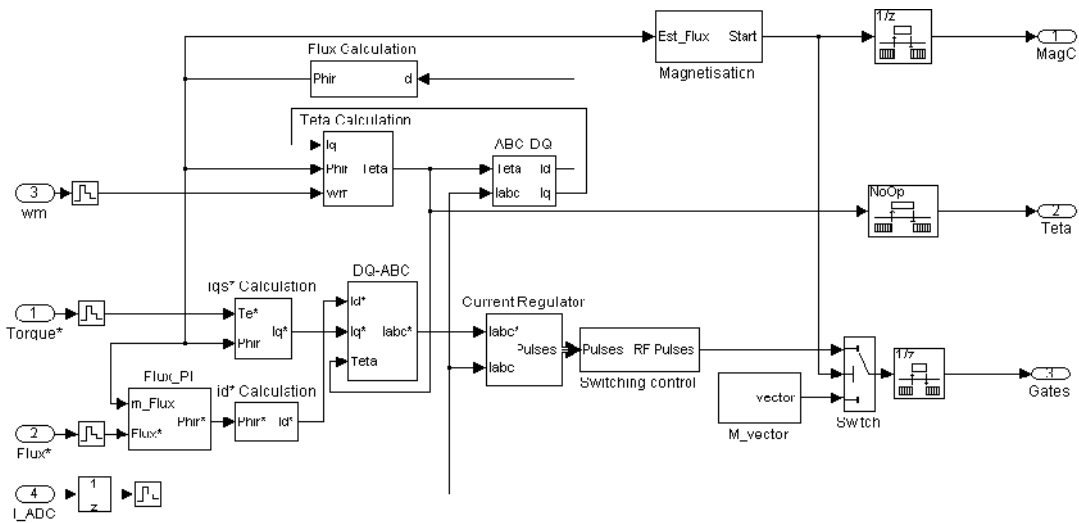
Motor induksi yang digunakan untuk simulasi memiliki data sebagai berikut, 1.5 Kw, 1420 rpm, 220/ 380 V, 6.4 / 3.7 A 3 phase, 50 Hz, 4 poles,  $R_s = 4.85 \Omega$ ,  $R_r = 3.805 \Omega$ ,  $L_s = 27.4 \text{ mH}$ ,  $L_r = 27.4 \text{ mH}$ ,  $L_m = 25.8 \text{ mH}$ ,  $J = 0.031 \text{ kg.m}^2$ ,  $B = 0.00114 \text{ kg.m}^2/\text{s}$

Sedangkan model *FOC* yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 2 dan *Speed controller* pada Gambar 3.

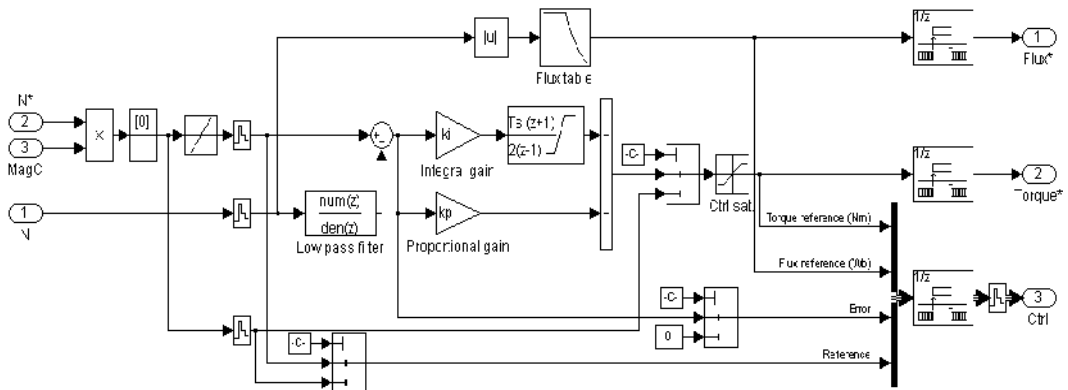




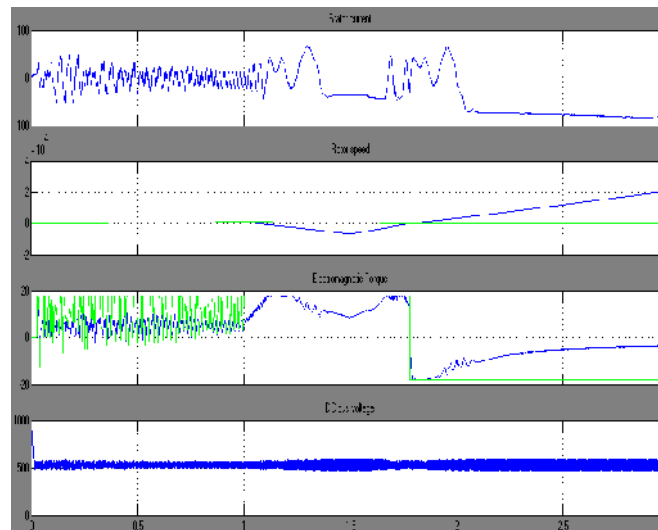
**Gambar 1. Toolbox Model FOC Motor Induksi**



**Gambar 2. Toolbox Algoritma FOC**



**Gambar 3. Speed Controller**



Gambar 4. Performa FOC

Dengan manuver simulasi sebagai berikut:

t	0	1	2
Speed	1400	0	1400

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dirun, diperoleh hasil simulasi performa sistem. Dengan waktu 0s, 1s dan 1,5 s dilakukan manuver setpoint speed sebesar 1400 rpm 0 dan -1400 rpm (ramp) dan torsi 0 Nm; 64,2857 Nm; -64,2857 Nm.

Dari grafik performa, dalam Gambar 4 dapat diamati bahwa Metode FOC dapat bermanuver dengan perubahan torsi dan kecepatan motor induksi dengan respon yang cepat dan torsi 0 Nm; 64,2857 Nm; -64,2857Nm

## KESIMPULAN

Metode FOC dapat bermanuver dengan perubahan torsi dan kecepatan motor induksi dengan respon yang cepat. Dengan waktu 0s, 1s dan 1,5 s dilakukan

manuver setpoint speed sebesar 1400 rpm 0 dan -1400 rpm (ramp)

## DAFTAR REFERENSI

- Aripriharta. 2010. "Desain Sistem Kendali Berbasis Mikrokontroller Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Dengan Metode *Indirect Field Oriented Control (Ifoc)*. Penelitian DIPA-UM.
- Arman Jaya, Soebagio, Mauridhi Heri Purnomo, 2009. Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tanpa Sensor Kecepatan Menggunakan Metode Self-Tuning Fuzzy Sliding Mode Control Berbasis Direct Torque Control. *Proceedings Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2009 (SNATI 2009)*
- Bimal K. Bose (2002), "Modern Power Electronics and AC drives", Prentice Hall PTR 2002
- Chikhi A., Djarallah M., Chikhi K. (2010). "A Comparative Study Of Field-Oriented Control And Direct-Torque Control Of Induction Motors Using An Adaptive Flux Observer." *Serbian Journal Of Electrical Engineering*. Vol. 7, No. 1, Pp. 41-55

- D. Casadei, Giovanni Serra (2002), " *FOC and DTC: two variable scheme for induction motor torque control*", IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 17, No. 5
- Era Purwanto, M. Ashary, Subagio, dan Mauridhi Herry P. (2008). "Pengembangan Inverter Fuzzy Logic Control Untuk Pe-ngendalian Motor Induksi Seba-gai Penggerak Mobil Listrik Dengan Metoda Vector Kontrol." Makara, Teknologi, Volume 12, No. 1, pp. 1-6
- Hasti Afianti, Soebagio, Mauridhi Hery Purnomo.(2005). Peran-cangan Modified Anfis Observer Untuk Identifikasi Kecepatan Motor Induksi." Proceedings Se-minar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2005 (*SNATI 2005*) ISBN: 979-756-061-6
- Jaroslav Lepka, Petr Stekl. (2004). "3-Phase AC Induction Motor Vector Control Using a 56F80x, 56F8100 or 56F8300 Device." Design of Motor Control Application Note- AN1930 Rev. 2, 2/2005, Freescale Semiconductor, Inc
- Petr Stekl. (2006). "Washing Machine Three Phase AC Induction Motor Drive Based on MC56F8013." Design of Motor Control Application Note-AN 3234 Rev. 0, 02/2006, Freescale Semiconductor, Inc
- O. Barambones, A. J. Garrido, F.J. Maseda (2003). "A Robust Field Oriented Control of induction Motor with Flux Obser-ver and Speed Adaptation". Proc. IEEE-ATFA, 2003.
- R. Krishnan. (2001). "Electric Motor drives: Modeling, Ana-lysis, and Control". New jersey: Prentice Hall, Inc.
- Ridwan Gunawan, Feri Yusi-var, Wahidin Wahab, Zuhul A. Kadir. (2006). "Perancangan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa Tanpa Sensor Kecepat-an Dengan Pengendali Vektor Arus dan Full Dan Reduced Observer Berada Pada Sumbu dq." Makara, Teknologi, Vol. 10, No. I, pp. 34-39