

Penggunaan PCI 1710 Sebagai Media Interface Untuk Implementasi Metode *Direct Torque Control* Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Phasa

Endro Wahjono

Jurusan Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

E-mail : endro@pens.ac.id



ABSTRAK

Penelitian ini mengobservasi penggunaan PCI 1710 sebagai interface untuk implementasi metode pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis Direct torque Control (DTC). Respon kecepatan dari sistem diperbaiki dengan Fuzzy Logic Control (FLC). Hasil dari observasi dengan simulasi simulink menunjukkan bahwa dengan kontroler Fuzzy Logic berbasis Direct Torque Control memberikan respon yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan pada saat terjadi overshoot 2,67%, rise time 0.025 detik dan settling time 0.2 detik dan settling time 0.425 detik, untuk kecepatan referensi motor 149,02 rad/detik dan torka beban 12,64 Nm. Dari hasil simulasi terbukti menggunakan kontroler Fuzzy Logic berbasis Direct Torque Control (DTC) respon kecepatan motor induksi tiga fasa bisa menjadi lebih baik.

Kata kunci : *DTC, motor induksi, fuzzy logic controller, PCI 1710*

I. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor yang banyak digunakan pada industri, bisnis transportasi dan lain-lain. Konstruksinya yang kokoh (robust) merupakan keunggulan dari motor induksi disamping harga yang murah dan bebas perawatan, sehingga peranan motor DC sekarang banyak digantikan oleh motor induksi. Pada umumnya motor induksi digunakan pada kecepatan putaran tetap. Berdasarkan survei, konsumsi daya pada motor dengan kecepatan konstan lebih besar dibanding dengan motor kecepatan variabel untuk berbagai beban.

Parameter mesin bisa diubah [2]. Selain digunakan untuk analisa kondisi steady state pemodelan motor induksi dalam koordinat d-q-n juga bisa untuk kondisi transient. Kelemahan motor induksi adalah bahwa motor induksi adalah motor yang tidak linier, dan metoda untuk mengatur kecepatan adalah rumit, disamping itu diperlukan suatu konverter yang akan menimbulkan harmonisa.

Untuk mewujudkan penggunaan PCI 1710 sebagai media interface untuk implementasi metode Direct Torque Control pada motor induksi 3 phase membutuhkan inverter sebagai driver, akan tetapi inverter yang sudah ada tidak dapat disulut mosfetnya, padahal pada pengaturan kecepatan motor induksi 3 phasa dengan FLC metode DTC dibutuhkan inverter yang bisa disulut mosfetnya melalui outputan Direct Torque Control Q_a , Q_b , Q_c .

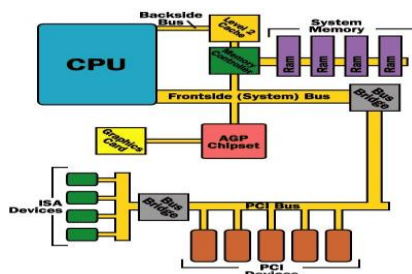
Sedangkan inverter yang sudah ada hanya dapat disulut berdasarkan frekwensinya, tidak dapat disulut mosfetnya. Oleh karena itu pada pembuatan hardware untuk mewujudkan penggunaan PCI 1710 sebagai media interface untuk implementasi metode Direct Torque Control pada motor induksi 3 phase ini dibuatlah inverter 3 phasa. Pengontrolan torka motor dapat dilakukan melalui tegangan dan frekuensi. Untuk keperluan pengaturan tegangan dan frekuensi digunakan catu daya yang berupa konverter. Untuk itu motor harus dimodelkan dalam koordinat dqn. Respon pergerakan mobil listrik dengan penggerak motor induksi perlu diperbaiki agar pengendara atau penumpang menjadi nyaman oleh karena itu motor harus dikontrol agar respon menjadi baik. Untuk memperbaiki sistem digunakan suatu kontroler, kontroler yang biasa digunakan adalah kontroler *Proporsional Integral Derivative* (PID), namun penggunaan pengontrolan PID sangat tergantung pada pemilihan parameter konstanta mesin yaitu konstanta proposional (k_p), konstanta integral (k_i) dan konstanta derivativ (k_d) yang sesuai. Untuk beban yang berubah-ubah, parameter pengontrol harus selalu disetting ulang dan proses ini akan jadi rumit. Untuk memperbaiki respon kecepatan motor induksi digunakan kontroler *Fuzzy Logic berbasis Direct Torque Control* yang bertujuan untuk mengurangi overshoot.[2]

Dengan menggunakan *Metoda Direct Torque Control* memungkinkan untuk mengontrol secara langsung fluks stator dan torka.[4] Perubahan fluks stator dan torka dikendalikan dengan *FLC* yang berfungsi untuk estimasi dan kendali kecepatan motor induksi. Kecepatan dari motor dibandingkan dengan kecepatan referensi, kemudian diumpankan ke kontroler untuk bisa mengendalikan kecepatan motor sehingga sesuai dengan harga referensi. Penggunaan sensor kecepatan banyak mengandung kelemahan, antara lain hasil pengukuran kecepatan kurang akurat karena seringkali letak dari sensor terlalu jauh dari sistem kontrol dan hasil pembacaan sensor banyak terdistorsi sehingga hasil pembacaan belum mencerminkan nilai putaran. Untuk menanggulangi masalah tersebut diperlukan suatu observer untuk membaca parameter arus, tagangan motor, tegangan dc, sudut penyulutan guna mengestimasi putaran. Cara ini yang sering disebut dengan *speed sensorless control* atau pengaturan putaran motor tanpa sensor kecepatan.

Sasaran penelitian ini adalah mengembangkan metode pengaturan kecepatan motor induksi 3 HP/2,4 kW, 380 volt dan 50 hertz tanpa sensor kecepatan dengan controller fuzzy logic berbasis *Direct Torque Control* (DTC).

II. PCI

PCI (Peripheral Connection Interface) adalah salah satu jenis bus yang dipasang pada PC untuk proses pengiriman maupun penerimaan data atau informasi dari dan ke peralatan luar.



Gambar 1. Device PCI

PCI dibuat oleh intel dan menjadi standart untuk sistem pentium. PCI dapat menukar data dengan CPU pada 32 atau 64-bit per detik dan mensupport bus mastering dalam mengijinkan kartu ‘pintar’ untuk melakukan proses mandiri dari CPU [13]. PCI slot hanya

menerima card PCI dan card PCI hanya pas pada PCI slot. PCI memiliki *high I/O counter*, kecepatan pengiriman data yang tinggi. Dalam melakukan proses interfacing, ada beberapa komponen di dalam PCI yang mendukung, diantaranya, sinyal PCI bus

PCI memiliki minimim 47 pin untuk peralatan luar dan 49 pin untuk penyimpanan data, pengalamatan, pengontrollan interface dan fungsi sistem.

III. TEKNIK SPACE VECTOR PULSE-WIDTH MODULATION (SVPWM).

Space vector modulation (SVM) adalah teknik modulasi yang dikembangkan melalui Space vector (vector ruang) yang akan menjadi tegangan acuan dengan periode sampling tertentu ke inverter. Dengan menggunakan dua tegangan acuan yaitu v_d, v_q dan sudut. Teknik SVPWM dapat digunakan untuk membangkitkan pola pensaklaran inverter 3 fasa jenis sumber tegangan (VSI). Bila tegangan acuan 3 fasa diberikan dalam bentuk v_a, v_b dan v_c maka diperlukan transformasi dari 3-fasa ke 2-fasa. Space vector dengan persamaan 3-fasa dapat dinyatakan dengan $x_a(t), x_b(t)$ dan $x_c(t)$ yang masing-masing mempunyai pergeseran fasa sebesar 120^0 .

Persamaan dalam vector dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\bar{x} = \frac{2}{3} [x_a(t) + ax_b(t) + a^2x_c(t)]$$

$$(2.9)$$

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = \cos(\frac{2\pi}{3}) + j\sin(\frac{2\pi}{3}) = 0,5 + j0,8667 \quad (1)$$

$$a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = \cos(\frac{4\pi}{3}) + j\sin(\frac{4\pi}{3}) = -0,5 - j0,8667 \quad (2)$$

Fungsi x dapat berupa fungsi tegangan, arus atau fluks dan tidak harus dalam bentuk fungsi sinusoida. Bila x sebagai fungsi tegangan, maka persamaan tegangan dapat diberikan dengan persamaan berikut:

$$\left. \begin{aligned} v_a(t) &= V_m \sin(\omega t) = x_a(t) \\ v_b(t) &= V_m \sin(\omega t - 120^\circ) = x_b(t) \\ v_c(t) &= V_m \sin(\omega t + 120^\circ) = x_c(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Sehingga dalam bentuk persamaan space vector untuk persamaan jumlah tegangan menjadi:

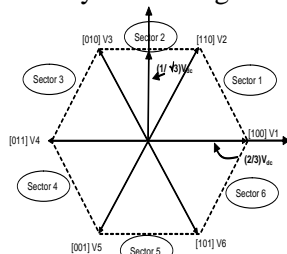
$$\bar{v} = \frac{2}{3} [v_a(t) + av_b(t) + a^2v_c(t)] \quad (4)$$

Tabel 1. Kombinasi posisi saklar Sa, Sb dan Sc

Vektor Tegangan	Sa	Sb	Sc
v ₀	0	0	0
v ₁	1	0	0

v ₂	1	1	0
v ₃	0	1	0
v ₄	0	1	1
v ₅	0	0	1
v ₆	1	0	1
v ₇	1	1	1

Karena kombinasi v₀(000) dan v₇(111) pada tabel 1 mempunyai tegangan output sama dengan nol, maka tinggal 6 (enam) vektor tegangan yang akan membentuk persegi enam dan mempunyai panjang rusuk masing-masing sebesar $\frac{2}{3}V_{dc}$ sesuai dengan persamaan (4). Jika dilihat dari salah satu segitiga yang terbentuk, akan terlihat menjadi segitiga sama kaki dengan garis tinggi sebesar $\frac{1}{\sqrt{3}}V_{dc}$. Gambar 2 menunjukkan vektor tegangan dengan masing-masing pergeserannya dan menghasilkan sektor.



Gambar 2. Mode sektor switching inverter

Untuk merealisasikan SVPWM melalui beberapa langkah berikut:

- Menentukan besar tegangan V_d, V_q, V_{ref} dan sudut α
- Menentukan lama waktu penyalaan saklar dengan T_1, T_2 dan T_0
- Menentukan lama pensaklaran masing-masing transistor (S_1-S_6)

Langkah pertama adalah menentukan transformasi dari 3 fasa ke 2 fasa dengan transformasi sebagai berikut:

$$V_d = V_{an} - V_{bn} \cos 60^\circ - V_{cn} \cos 60^\circ \quad (5)$$

$$V_d = V_{an} - \frac{1}{2}V_{bn} - \frac{1}{2}V_{cn}$$

$$V_q = V_{an} - V_{bn} \cos 30^\circ - V_{cn} \cos 30^\circ$$

$$V_d = 0 - \frac{\sqrt{3}}{2}V_{bn} - \frac{\sqrt{3}}{2}V_{cn}$$

Persamaan 9 dapat dibentuk dalam persamaan matrik sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$V_{ref} = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \quad (7)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{V_q}{V_d} \right) = \omega_s t = 2\pi f_s t$$

Dengan f_s adalah frekuensi dasar, untuk menentukan lama waktu pensaklaran T_1, T_2 dan T_0 adalah melalui persamaan berikut:

$$\int_0^{T_z} \bar{V}_{ref} dt = \int_0^{T_1} \bar{V}_1 dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} \bar{V}_2 dt + \int_{T_1+T_2}^{T_z} \bar{V}_0 dt \quad (8)$$

Dengan $\bar{V}_0 = 0$, sehingga

$$T_z \cdot \bar{V}_{ref} = T_1 \bar{V}_1 + T_2 \bar{V}_2$$

$$T_z \cdot \bar{V}_{ref} \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{bmatrix} = T_1 \frac{2}{3} V_{dc} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + T_2 \frac{2}{3} V_{dc} \begin{bmatrix} \cos(\frac{\pi}{3}) \\ \sin(\frac{\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dengan nilai $0 \leq \alpha \leq 60^\circ$, maka nilai T_1, T_2 dan T_0 adalah sebagai berikut:

$$T_1 = T_z \cdot a \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{3} - \alpha)}{\sin \frac{\pi}{3}} \quad (10)$$

$$T_2 = T_z \cdot a \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\sin \frac{\pi}{3}} \quad (11)$$

$$T_0 = T_z - (T_1 + T_2)$$

dengan

$$T_z = \frac{1}{f_s} \quad \text{dan} \quad a = \frac{|V_{ref}|}{\frac{2}{3}V_{dc}}$$

Secara umum nilai T_1, T_2 dan T_0 untuk semua sektor adalah sebagai berikut:

$$T_1 = \frac{\sqrt{3}T_z |V_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \left(\frac{\pi}{3} - \alpha + \frac{n-1}{3} \pi \right) \right) = \frac{\sqrt{3}T_z |V_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \left(\frac{n\pi}{3} - \alpha \right) \right)$$

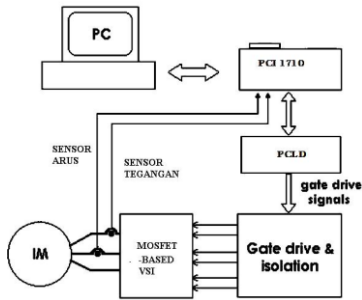
$$T_1 = \frac{\sqrt{3}T_z |V_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \frac{n\pi}{3} \cos \alpha - \cos \frac{n\pi}{3} \sin \alpha \right)$$

$$T_2 = \frac{\sqrt{3}T_z |V_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin \left(\alpha - \frac{n-1}{3} \pi \right) \right)$$

$$T_2 = \frac{\sqrt{3}T_z |V_{ref}|}{V_{dc}} \left(-\cos \alpha \sin \frac{(n-1)\pi}{3} + \sin \alpha \cos \frac{(n-1)\pi}{3} \right)$$

$$T_0 = T_z - T_1 - T_2 \quad \left(\begin{array}{l} \text{untuk } n=1-6 \text{ (sektor 1 sampai 6)} \\ 0 \leq \alpha \leq 60^\circ \end{array} \right)$$

IV. MODEL PERENCANAAN SISTEM

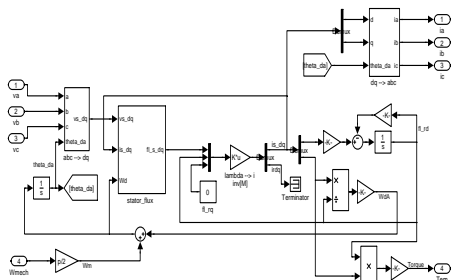


Gambar 3. Blok diagram pemodelan sistem

Dari gambar diatas secara keseluruhan dapat dibagi dalam beberapa blok:

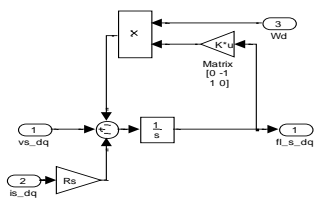
1. Model motor induksi tiga fasa
2. Model estimator *Direct Torque Control*
3. Model *Fuzzy Logic Controller (FLC)*

IV.1 Model Motor Induksi tiga fasa



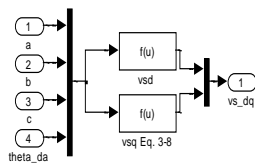
Gambar 4. Model Motor Induksi 3 fasa

Dari gambar 4 terlihat bahwa blok flux stator (model fluks stator) dapat diperlihatkan pada gambar 5.

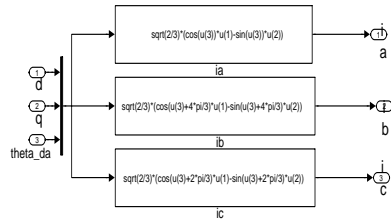


Gambar 5. Model fluks stator motor

Untuk model transformasi abc ke sumbu dq atau sebaliknya dapat dilihat pada gambar 6 dan 7.



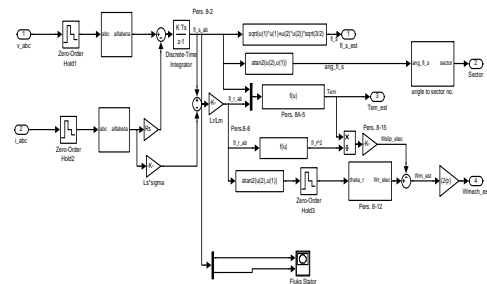
Gambar 6. Transformasi besaran sumbu abc ke dq



Gambar 7. Transformasi besaran sumbu dq ke abc

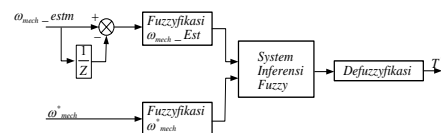
IV.2 Model Estimator DTC

Sinyal tegangan v_{abc} dan arus i_{abc} dari stator dengan besaran 3 fasa ditransformasikan menjadi besaran 2 fasa pada *sumbu-d* dan *sumbu-q*, kemudian digunakan untuk menghitung flux stator (fl_{s_est}), sector, torka (Tem_est), dan putaran ($Wmech_est$) estimasi seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Estimator flux, torka , putaran dan sudut

IV.3 Model *Fuzzy Logic Controller (FLC)*



Gambar 9. Model Fuzzy Logic Controller

Proses pertama didalam *FLC* adalah fuzzyfikasi setiap input *FLC* dari proses ini didapatkan nilai fungsi keanggotaan dari tiap himpunan fuzzy yang ada untk tiap input, setelah semua input telah melalui proses fuzzyfikasi maka untuk mengambil suatu keputusan dari hasil fuzzyfikasi akan dimasukkan kedalam sistem pengambil keputusan yang lebih dikenal dengan aturan-aturan dasar (*rule base*). Setelah keputusan telah diambil adalah proses selanjutnya adalah melakukan proses defuzzyfikasi. Proses defuzzifikasi adalah proses pemetaan dari hasil aksi kontrol inferensi fuzzy. Tujuan dari defuzzifikasi adalah untuk menghasilkan aksi kontrol non fuzzy (*crisp*) yang mewakili distribusi kemungkinan dari hasil kontrol inferensi fuzzy.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

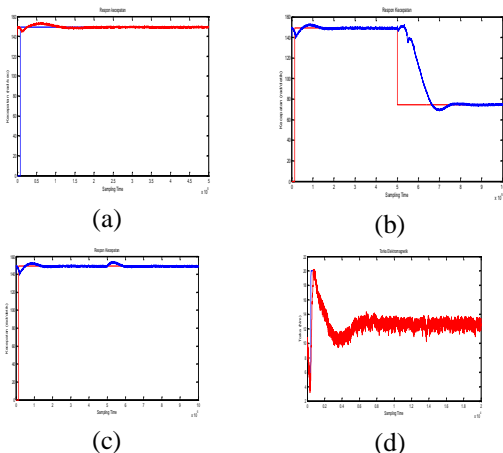
Melakukan peniruan dari keadaan riil suatu sistem disebut dengan melakukan simulasi. Kemiripan hasil simulasi dengan sistem yang sebenarnya sangat tergantung dari model matematik yang digunakan.

Pada simulasi pengaturan putaran motor induksi tiga fasa ini akan dilakukan dengan uji pada kondisi strat, putaran referensi turun 50% dan beban turun 50%. Hal ini difungsikan untuk melihat performansi dari motor induksi apabila terjadi seting putaran turun dan beban turun dan kenaikan beban.

Disamping menggunakan kontrol fuzzy logic berbasis DTC akan dilakukan pula dengan kontrol PI untuk melihat performansi putaran motor induksi tiga fasa. Data teknis dari motor induksi tiga fasa yang dipakai untuk simulasi dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

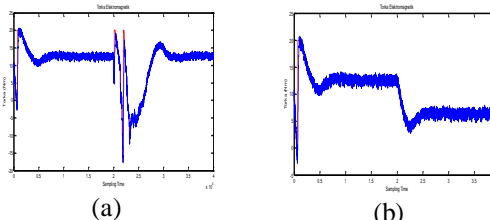
Tabel 2. Data teknik motor induksi tiga fasa

Daya (P)	3 HP/2.4 kW
Tegangan (V)	380 V(L-L,rms)
Frekuensi (f)	50 Hz
Fasa (F)	3
Jumlah kutub (p)	4
Arus beban penuh (I)	4 A
Tahanan stator (Rs)	1,77 Ω
Tahanan rotor (Rr)	1,34 Ω
Reaktansi stator (Xs)	5,25 Ω
Reaktansi rotor (Xr)	4,75 Ω
Reaktansi gandeng (Xm)	1,39 Ω
Slip beban penuh (s)	1,72 %
Momen enersia motor (J)	0,025kg.m ²



Gambar 10. (a) Putaran motor induksi pada saat start; (b) Putaran pada saat referensi turun 50%; (c) Putaran pada saat beban turun 50%; (d) Torka elektromagnetik motor pada saat start

Torka elektromagnetik motor dapat ditunjukkan pada gambar 11 pada kondisi start, akan stabil setelah 0,8 detik. Torka elektromagnetik motor pada saat t=0,5 detik terjadi putaran referensi turun 50%, akan stabil setelah 0.12 detik. Seperti ditunjukkan pada gambar 11.a.



Gambar 11. (a) Torka elektromagnetik motor saat terjadi putaran referensi turun 50%; (b) Torka elektromagnetik motor pada saat beban turun 50%

Torka elektromagnetik dapat dilihat pada gambar 11.b pada kondisi beban turun 50% akan stabil setelah 0,05 detik. Hasil pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan *Direct Torque Control(DTC)* dengan kontroler *Fuzzy Logic* dapat ditabelkan menjadi satu untuk ketiga percobaan seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil kontroler Fuzzy Logic pada DTC

Performansi	FLC		
	1	2	3
Over shoot (%)	2,67	94.6	3.37
Rise time (sec)	0.025	0.018	0.2
Settling Time (sec)	0.2	0.325	0.15
Peak Time (sec)	0.052	0.025	0.05
Peak (rad/sec)	155	155	160

Pada kolom angka 1 menunjukkan hasil simulasi motor pada saat start diberi beban sebesar 12,64 Nm dengan kecepatan referensi 149,02 rad/detik, angka 2 menunjukkan hasil simulasi motor pada saat start diberi beban sebesar 12,64 Nm dengan kecepatan referensi diturunkan 50 % sebesar 74,51 rad/detik dan angka 3 menunjukkan hasil simulasi motor pada diberi beban diturunkan 50 % sebesar 6,32 Nm dengan kecepatan referensi sebesar 149,02 rad/detik.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada saat start motor dengan beban 12,64 N-m dan putaran nominal 149.02 rad/detik terjadi overshoot 2,67 %, rise time 0,025 detik dan settling time 0,2 detik.
2. Pada saat motor terjadi perubahan referensi putaran menjadi 74.51 rad/detik dengan beban 12,64 N-m terjadi overshoot 94,6 %,

rise time 0.018 detik dan settling time 0.325 detik.

3. Pada saat motor terjadi penurunan beban dari 12,64 N-m menjadi 6,32 N-m maka terjadi overshoot 7,37 %, rise time 0.02 detik dan settling time 0,15 detik.

REFERENSI

- [1.] D. Casadei, Giovanni Serra, " *FOC and DTC: two variable scheme for induction motors torque control*", Trans. On Power Electronics, Vol. 17, No. 5, September 2002.
- [2.] I. Takahashi, T. Noguchi, " A new quick-response and high-efficiency control strategy of an induction motor", IEEE, Tran. Ind. Appl, IA-22(5): 820-827, 1996.
- [3.] D. Casadei, G. Serra, A. Tani, and L.Zarri, " *Assessment of direct torque control for induction motor drives*", Buletin of the Polish academy of science tech. sciences, vol. 54, No.3,2006.
- [4.] H. Tajima and Y. Hori, " *Speed sensorless field oriented control of induction motor*", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 29, pp. 175–180, Jan./Feb. 1993.
- [5.] A. Damiano, P. Vas et al, "Comparison of speed sensorless DTC induction motor drives, "in Proc. PCIM, Nuremberg, Germany, 1997, pp. 1-11.
- [6.] Jawad Faiz, Mohammad Bagher Bannae Sharifian, Ali Keyhani, Amulin Bogda Proca, Sensorless Direct Torque Control of Induction Motors Used in Electric Vehicle,"IEEE Transaction on Energy Conversion, vol.18, March 2003.
- [7.] Nuno M.Silva, Antonio P, Martin, Adriano S.Carvalho,"Torque And Speed Modes Simulation of A DTC-Controlled Induction Motor", Proceeding of the 10th Mediterranean Conference on Control and Automation-MED 2002 Lisbon, Portugal, July 2002.
- [8.] P. Tiitinen, P. Pohkalainen, J. Lalu,"The next generation motor control method : Direct torque control (DTC),"EPEJ, vol.5, pp.14-18, Marc.1995.
- [9.] Ned Mohan, " *Electric drives an integrated approach*", MNPERE, Minneapolis, 2003.
- [10.] Ned mohan, " *Advance electric drives analysis, control and modeling using simulink*", MNPERE, Minneapolis, 2001.
- [11.] Petar R. Matic, Branko D. Blanus, Slobodan N Vukosavic, " *A novel direct torque control and flux control algorithm for the induction motor*", IEEE, 2003. Pradeep Chatterjee, B.M.Karan, P.K. Sinha, "Fuzzy Control of Induction Motor with Reduced Rule Base" Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol 4, No.2, November 2007, 147-159.
- [12.] Pradeep Chatterjee, B.M.Karan, P.K. Sinha, "Fuzzy Control of Induction Motor with Reduced Rule Base" Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol 4, No.2, November 2007, 147-159.
- [13.] Riad Toufouti, Salima Meziane, Hocine Benalla, "Direct Torque Control Strategi of Induction Motor", Acta Electrotechnica et Informatica No.1, Vol.7, 2007.
- [14.] Riad Toufouti, Salima Meziane, Hocine Benalla, "Direct Torque Control for Induction Motors Based on Discrete Space Vector Modulation", International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-562 Volume 2, Number 3 (2007), pp.453-466.