

JURNAL TEKNO

Volume 17

Nomor 1

Maret 2012

ISSN 1693 - 8739

TEKNO

JURNAL TEKNOLOGI ELEKTRO DAN KEJURUAN

TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS NEGERI MALANG

TEKNO

JURNAL TEKNOLOGI ELEKTRO DAN KEJURUAN

KETUA PENYUNTING

Tri Atmaji Sutikno

WAKIL KETUA PENYUNTING

Setiadi Cahyono Putro

PENYUNTING PELAKSANA

Wahyu Sakti Gunawan Irianto

Muladi

Ahmad Fahmi

Sujito

PENYUNTING AHLI

Amat Mukhadis (Universitas Negeri Malang)

Achmad Sonhadji (Universitas Negeri Malang)

Paryono (Universitas Negeri Malang)

M. Isnaeni (Universitas Gadjah Mada)

Soeharto (Universitas Negeri Yogyakarta)

Sumarto (Universitas Pendidikan Indonesia Bandung)

Budiono Ismail (Universitas Brawijaya)

Oscar Mangisengi (Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya)

TATA USAHA

Triyanna Widiyaningtyas

M Zainal Arifin

ALAMAT REDAKSI : Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang 5 Malang. Jawa Timur, Telp. 0341 - 551312 psw 304, 0341 - 7044470, Fax : 0341 - 559581 E-mail: sujitoum04@yahoo.com, zainal@um.ac.id

Jurnal Ilmiah **TEKNO** diterbitkan oleh Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, Terbit pertama kali pada tahun 2004 dengan judul **TEKNO**

Jurnal Ilmiah **TEKNO** diterbitkan dua kali dalam setahun. yaitu pada bulan Maret dan September Redaksi menerima artikel hasil penelitian atau analisis konseptual. Redaksi sepenuhnya berhak menentukan suatu artikel layak/tidak dimuat. dan berhak memperbaiki tulisan selama tidak merubah isi dan maksud tulisan. Naskah yang tidak dimuat tidak dikembalikan dan setiap artikel yang dimuat akan dikenai biaya cetak.

Jurnal Ilmiah **TEKNO** diterbitkan di bawah pembinaan Tim Pengembangan Jurnal Universitas Negeri Malang. **Pembina :** Suparno (Rektor). **Penanggung Jawab:** Pembantu Rektor I, Ketua : Ali Saukah. **Anggota:** Suhadi Ibnu. Amat Mukhadis. Mulyadi Guntur Waseno. Margono Staf Teknis : Aminarti S. Wahyuni, Ma'arif. **Pembantu Teknis :** Stefanus Sih Husada. Sukarto Akhmad Munir.

TEKNO

JURNAL TEKNOLOGI ELEKTRO DAN KEJURUAN

Daftar Isi

<i>M Jauharul Fuady</i>	Penerapan Query Expansion Pada Multilingual Text Retrieval	1 – 8
<i>Ella Lalfakhiroh Tri Atmadji</i>	Implementasi Metode Pembelajaran Think Pair Share (TPS) Untuk Meningkatkan Aktivitas dan Hasil Belajar Mata Pelajaran Teknik Komputer dan Jaringan	9 – 16
<i>Devita Syam Ekaputri Hari Putranto</i>	Penerapan Metode <i>Project Based Learning</i> Dengan Strategi <i>Team Teaching</i> Untuk Meningkatkan Motivasi, Keaktifan, dan Hasil Belajar Siswa Pada Mata Pelajaran Produktif Multimedia	17 – 26
<i>Hardini Ratna Puspitawati Heru Wahyu Herwanto</i>	Perancangan Sistem Informasi Inventarisasi Laboratorium Berbasis Web	27 – 32
<i>Laila Nurwahyunita Suwasono</i>	Penerapan Model Pembelajaran Perpaduan <i>Numbered Heads Together</i> (NHT) dan <i>Problem Based Learning</i> (PBL) Untuk Meningkatkan Keaktifan Siswa	33 – 38
<i>Wahyu Nugraha Putra Sujono</i>	Perbedaan Hasil Belajar TIK Menggunakan Model Kooperatif Tipe <i>Team Games Tournament</i> (TGT) Dengan Model <i>Direct Instruction</i> (DI) Pada Materi Menggunakan Rumus dan Fungsi Openoffice.Org Calc	39 – 42
<i>Aripriharta Rini Nur Hasanah Teguh Utomo</i>	Pemodelan <i>SVPWM Inverter</i> Sebagai Penggerak Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Berbasis Metode <i>Vector Control</i>	43 – 48
<i>Triyanna Widiyaningtyas</i>	Desain dan Implementasi Jurnal Perkuliahan Berbasis Web Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang	49 – 58
<i>Oktaviani Indria Purnama Setiadi Cahyono Putro</i>	Pengaruh Faktor Keaktifan Dan Variasi Metode Pembelajaran Terhadap Hasil Belajar Dasar Pemrograman Pascal	59 – 65
<i>Roni Prastya Aditama Mahros Darsin Sumarji</i>	Sumarji, Perubahan Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI H13 Akibat Variasi Arus Pada Proses <i>Electrical Discharge Machining</i> (EDM) <i>Sinking</i> Menggunakan Elektroda Grafit	66 – 72

Pengantar Redaksi

TEKNO....

Puji Syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, bahwa Jurnal **TEKNO** Jurnal Teknologi Elektro dan Kejuruan edisi Volume 17 Nomor 1 Maret 2012 telah terbit sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

TEKNO adalah sebuah Jurnal Ilmiah yang diterbitkan oleh Teknik Elektro Universitas Negeri Malang. Jurnal ini merupakan salah satu media bagi para insan intelektual untuk mempublikasikan hasil penelitian ataupun konseptual pada bidang elektro dan kejuruan.

Dengan adanya media Jurnal Ilmiah **TEKNO** yang terbit secara berkala, diharapkan semakin menumbuhkan budaya menulis di kalangan civitas akademika dan membuat suasana akademis semakin berkembang, baik dalam pengajaran ataupun penelitian.

Ada 10 artikel yang terpilih dan dimuat pada edisi ini meliputi bidang Instrumentasi, Kendali, Sistem Radar, Sistem Tenaga dan Informatika. Kami ucapkan terima kasih kepada para pengirim artikel pada umumnya, dan ucapan selamat kepada pengirim artikel yang dimuat pada edisi ini.

Segala usaha terus-menerus dilakukan, baik aspek substansi maupun tampilan. Mudah-mudahan semua upaya yang dilakukan mampu meningkatkan kualitas Jurnal **TEKNO** secara bertahap, sesuai dengan rambu-rambu akreditasi jurnal nasional, dan sebagai media ilmiah bidang teknologi elektro dan kejuruan yang efektif dan efisien di Indonesia.

Walaupun kami telah berupaya secara maksimal disadari kekurangan mungkin masih terjadi. Oleh karena itu, apabila ada saran atau masukan perbaikan dari pembaca demi peningkatan kualitas jurnal ini sangat diharapkan. Atas segala saran dan masukan perbaikan kami ucapkan terima kasih.

Malang, Maret 2012
Redaksi

PEMODELAN SVPWM INVERTER SEBAGAI PENGGERAK MOTOR INDUKSI TIGA FASA ROTOR SANGKAR BERBASIS METODE VECTOR CONTROL

Aripriharta, Rini Nur Hasanah, Teguh Utomo

Abstrak: Pada penelitian ini dirancang model SVPWM FSTPI sebagai penggerak motor induksi tiga fasa rotor sangkar 0,5Hp, 50Hz, 220/380V. Pengaturan torsi nya dirancang dengan algoritma *sensorless*. Posisi fluksi rotor diestimasi dengan *ramp estimator* agar dapat dijalankan pada mikrokontroler 8-bit. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh bahwa model SVPWM FSTPI dirancang dengan tegangan kerja antar 200 V_(dc) sampai dengan 400V_(dc) dengan periode sampling 200us. Profil tegangan keluarannya yang cenderung tidak seimbang. Model yang dirancang mampu bekerja dengan baik pada kasus dinamis terbukti ketika torsi beban berubah dari 0Nm menjadi 0,1Nm. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa prototipe mampu beroperasi pada tegangan masukan maksimal 220V_{dc}. Meskipun demikian, prototipe masih dapat bekerja mengatasi perubahan torsi beban mencapai 0,3Nm.

Kata kunci: SVPWM, FSTPI, *sensorless vector control*, *model space vector*

Salah satu topologi rangkaian inverter tiga fasa adalah *Four Switch Three Phase Voltage Source Inverter* (FSTPI). FSTPI memerlukan dua buah kapasitor dan 4 buah komponen semikonduktor daya yang disusun berpasangan. Apabila digunakan sebagai motor induksi tiga fasa rotor sangkar, maka salah satu fasa stator akan dihubungkan ke titik tengah kapasitor FSTPI. Kapasitansi kedua buah kapasitor pada rangkaian FSTPI harus bernilai sama untuk mencegah kemungkinan ketidakseimbangan tegangan pada terminal keluarannya.

Tegangan keluaran FSTPI dibentuk melalui proses *switching* dari komponen semikonduktornya, salah satunya dengan metode *Space Vector Pulse Width Modulation* (SVPWM). Penelitian terakhir tentang SVPWM FSTPI menunjukkan bahwa algoritma SVPWM pada FSTPI dapat direalisasikan menggunakan mikrokontroler 8-bit. SVPWM FSTPI memiliki performa yang baik dalam hal pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa untuk aplikasi industry.

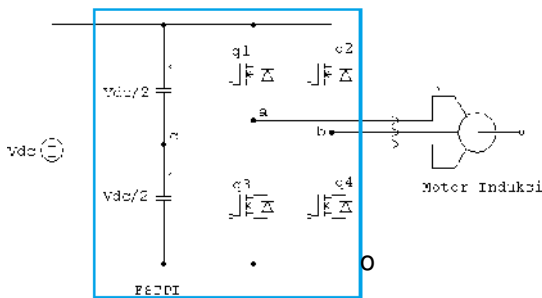
SVPWM FSTPI selain mudah diterapkan, juga efektif untuk berbagai aplikasi VSD yang menggunakan motor induksi tiga fasa rotor sangkar. Selain itu, SVPWM FSTPI juga dapat bekerja dengan baik untuk mengendalikan *brushless dc motor* (BLDC), STATCOM. SVPWM FSTPI memiliki 4 vektor aktif untuk membentuk tegangan keluarannya dalam model *space vector*.

Pada penelitian ini, model SVPWM FSTPI sebagai penggerak motor induksi 3 fasa rotor sangkar dikembangkan dengan lebih spesifik. Perbedaan utamanya yakni pada metode kendalinya menggunakan metode *vector control* berbasis skema *sensorless*. Kecepatan putar dan sudut fluksi rotor diperoleh melalui estimasi. Selanjutnya, paper ini menunjukkan hasil pemodelan sistem yang dimaksud di atas.

SVPWM FSTPI

Topologi *four switch three phase inverter* (FSTPI) pada aplikasi *variable speed drives* (VSD) diperlihatkan pada

Gambar 1 sangat mirip dengan *H-bridge* atau *2-leg inverter* pada aplikasi konverter dc ke dc ataupun inverter satu fasa. FSTPI dalam Gambar 1 tersusun atas empat buah komponen semikonduktor, bisa MOSFET, IGBT ataupun GTO. Inverter ini dicatu oleh penyearah dioda yang dilengkapi dengan dua buah kapasitor sebagai *DC link*. FSTPI digunakan sebagai penggerak motor induksi 3 fasa rotor sangkar, dengan belitan statornya dapat di hubung bintang (Y) dan segitiga (Δ). Dua buah fasa belitan statornya (1 dan 2) diperoleh dari dua kaki inverter dan fasa yang ke-3 dihubungkan ke titik tengah *DC link* kapasitor.



Gambar 1. Topologi VSD Dengan FSTPI Inverter

Ada dua asumsi yang digunakan dalam memodelkan FSTPI. Asumsi pertama adalah *state-state* dari keempat buah sakelar semikonduktor daya dinotasikan sebagai variable biner $q_1, q_2, q_3,$ dan q_4 , dengan biner 1 mewakili state ON, dan biner 0 mewakili state OFF. State-state dari sakelar bagian atas (q_1 dan q_2) dengan yang bagian bawah (q_3 dan q_4) dari kaki-kaki FSTPI merupakan komplemen, dengan demikian :

$$q_3 = 1 - q_1 \tag{1}$$

$$q_4 = 1 - q_2 \tag{2}$$

Asumsi kedua adalah tegangan pada masing-masing kapasitor DC link dianggap sama, sebesar $V_{c1}=V_{c2}= \bar{E}/2$, dengan \bar{E} adalah tegangan keluaran penyearah sebesar E . Dengan demikian, tegangan

beban tiga fasa dapat diekpresikan sebagai fungsi state-state dari sakelar bagian atas (q_1 dan q_2). Jadi, tegangan fasa 1, 2, dan 3 ke titik bersama (0) pada Gambar 1, yakni v_{10}, v_{20} dan v_{30} tergantung pada state q_1 dan q_2 , sebagai berikut:

$$v_{a0} = (2q_1 - 1) \frac{\bar{E}}{2} \tag{3}$$

$$v_{b0} = (2q_2 - 1) \frac{\bar{E}}{2} \tag{4}$$

$$v_{c0} = 0 \tag{5}$$

dengan v_{a0}, v_{b0}, v_{c0} adalah tegangan fasa 1, 2, dan 3 ke titik bersama (0). Berdasarkan persamaan (3) sampai dengan (5) dapat diperoleh tegangan v_{a0}, v_{b0}, v_{c0} padasemua kemungkinan state q_1 dan q_2 yang dituliskan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Tegangan v_{10}, v_{20}, v_{30} Pada State q_1 dan q_2

q_1	q_2	v_{a0}	v_{b0}	v_{c0}
0	0	$-\bar{E}/2$	$-\bar{E}/2$	0
0	1	$-\bar{E}/2$	$\bar{E}/2$	0
1	0	$\bar{E}/2$	$-\bar{E}/2$	0
1	1	$\bar{E}/2$	$\bar{E}/2$	0

SVPWM FSTPI pada aplikasi VSD dibebani oleh motor induksi tiga fasa rotor sangkar. Untuk kasus hubungan Y.

$$v_\alpha = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(q_1 \bar{E} - q_2 \frac{\bar{E}}{2} - \frac{\bar{E}}{4} \right) \tag{6}$$

$$v_\beta = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(q_2 \frac{\sqrt{3}}{2} \bar{E} - \frac{\sqrt{3}}{4} \bar{E} \right) \tag{7}$$

Tabel 2. Kemungkinan V Untuk Beban Y

q_1	q_2	$v = v_\alpha + jv_\beta$
0	0	$v_1 = (\bar{E}/\sqrt{6})e^{-j2\pi/3}$
1	0	$v_2 = (\bar{E}/\sqrt{2})e^{-j\pi/6}$
1	1	$v_3 = (\bar{E}/\sqrt{6})e^{j\pi/3}$
0	1	$v_4 = (\bar{E}/\sqrt{2})e^{j5\pi/6}$

Pada SVPWM harus didefinisikan terlebih dahulu sebuah vektor referensi, misalkan V_s dalam bidang $\alpha\beta$. Pendekatan yang digunakan oleh vektor referensi V_s berdasar kepada pemilihan urutan *switching* q_1, q_2, q_3 , dan q_4 . Berikut ini adalah persamaan V_s ;

$$V_s = \frac{m}{2\sqrt{2}} \cdot \bar{E} e^{j\omega_0 t} \quad (8)$$

dengan m adalah indeks modulasi, $\omega_0 t$ pergeseran sudut V_s terhadap sumbu α . Berdasarkan pers. 8, V_s berputar pada bidang $\alpha\beta$. Akibat perputaran V_s , maka terbentuk lintasan bundar yang radiusnya tergantung pada amplitudo V_s .

Sensorless Vector Control

Pada kasus-kasus VSD, motor induksi 3 fasa rotor sangkar dikendalikan dengan metode *vector control*. Prinsipnya, metode *vector control* bertujuan untuk mengupayakan agar motor tersebut dapat diatur seperti layaknya motor dc penguatan terpisah. Ini berarti bahwa torsi dan fluksi motor tersebut dapat diatur secara terpisah. Akan tetapi, secara fisik motor induksi hanya mendapat eksitasi dari belitan statornya saja, sementara belitan rotornya mendapat induksi medan magnet dari belitan statornya.

Parameter motor induksi seperti induktansinya, dapat berubah-ubah setiap ada perubahan sudut rotornya. Kendala-kendala yang dihadapi dapat diatasi dengan menggunakan model dinamis motor induksi yang dikenal sebagai model *space vector*. Model *space vector* diformulasikan dengan beberapa asumsi, yakni: parameter-parameter pada setiap fasa motor ini dalam kondisi setimbang, celah udara seragam, rugi-rugi dan saturasi diabaikan. Model *space vector* ini diformulasikan diperlukan kerangka acuan sembarang. Kerangka acuan ini merupakan sistem koordinat dua dimensi, K yang

berputar dengan kecepatan sembarang, ω_K . Adapun model tersebut adalah:

stator:

$$U_{sK} = R_s I_{sK} + \frac{d}{dt} \Psi_{sK} + j\omega_{sK} \Psi_{sK} \quad (9)$$

$$\Psi_{sK} = L_s I_{sK} + L_M I_{rK} \quad (10)$$

rotor:

$$0 = R_r I_{rK} + \frac{d}{dt} \Psi_{rK} + j(\omega_K - p_b \omega_m) \Psi_{rK} \quad (11)$$

$$\Psi_{rK} = L_r I_{rK} + L_M I_{sK} \quad (12)$$

mekanik:

$$\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{1}{j} (M_e - M_L) \Psi_{rK} \quad (13)$$

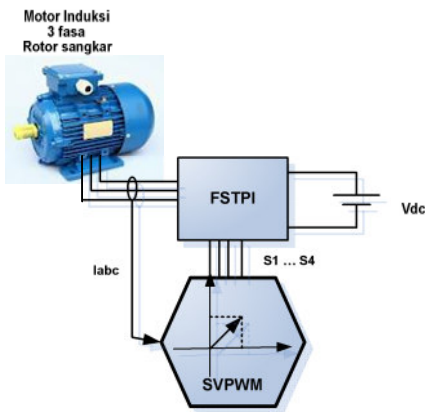
$$M_e = p_b \frac{m_s}{2} I_m (\Psi_{sK}^* \cdot I_{sK}^*) \quad (14)$$

Kecenderungan dalam menghemat biaya, sensor-sensor seperti sensor kecepatan dan posisi yang digunakan dalam teknik kendali dengan metode *vector control* direduksi. Sistem yang demikian disebut sebagai *sensorless vector control*. *Sensorless* berarti bahwa sistem tersebut tidak menggunakan sensor kecepatan, maupun sensor posisi. Biasanya sistem *sensorless* ini berbasis pada metode *indirect*, yakni fluksi rotor tidak disensor secara langsung dengan sensor magnet, misalnya *hall effect*, melainkan diperoleh berdasarkan perhitungan dari variabel variabel statornya.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode desain eksperimental. Desain meliputi pemodelan sistem secara keseluruhan. Pembentukan model sistem ini dibagi menjadi dibagi menjadi tiga tahapan, yakni: pemodelan motor induksi, pemodelan SVPWM FSTPI, pemodelan *sensorless vector control*. Berikut ini ada-

lah diagram balok model sistem yang dikembangkan.



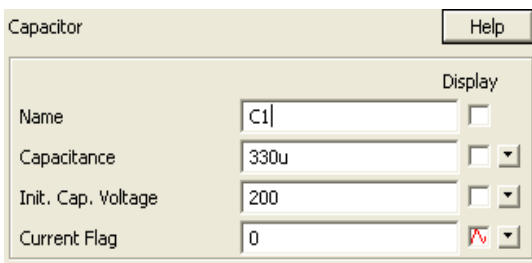
Gambar 2. Blok Diagram Model Sistem

Pada penelitian ini, dikondisikan bahwa kerangka acuan sembarang berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan fluksi rotornya. Kemudian komponen arus penghasil torsi (pada sumbu-q) dan komponen arus penghasil fluksi (pada sumbu-d) dipisahkan dan dikendalikan dengan kontroler PI. Integral dari kecepatan putar tersebut dipakai sebagai perkiraan besarnya sudut rotor (ρ_{est}). Parameter-parameter ini digunakan untuk melakukan manuver terhadap sistem kendali motor induksi tiga fasa rotor sangkar secara keseluruhan.

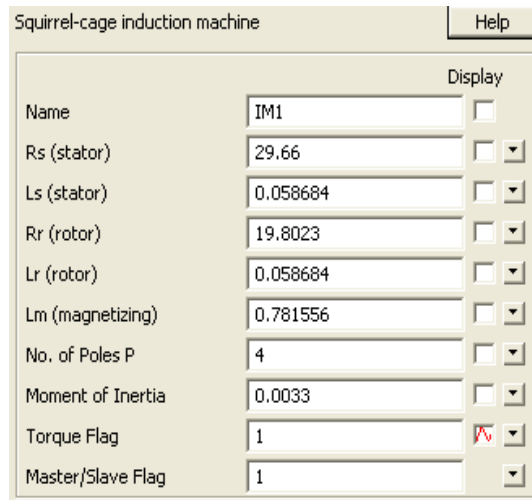
Sedangkan eksperimen yang akan dilakukan dalam penelitian ini berupa simulasi model dengan menggunakan perangkat lunak. Data-data hasil simulasi dianalisis dan ditarik suatu kesimpulan dari hasil penelitian ini.

Berikut ini adalah data-data parameter model sistem yang digunakan untuk simulasi.

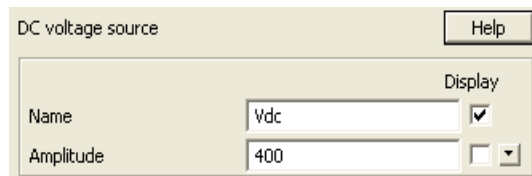
Parameter DC link



Parameter motor induksi



Parameter Vdc

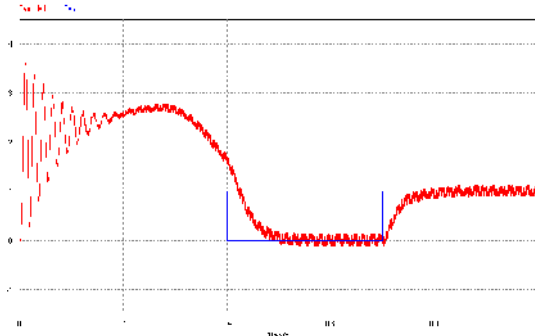


HASIL DAN PEMBAHASAN

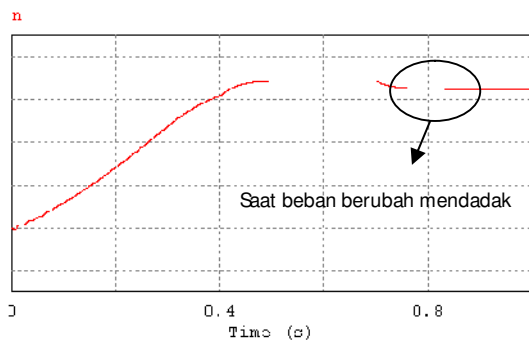
Simulasi difokuskan pada perilaku dinamis sistem dengan menerapkan perubahan yang mendadak pada torsi beban. Pada eksperimen ini, model SVPWM FSTPI di setting dengan tegangan dc 500V, frekwensi switching 10 kHz, indeks modulasi 0,98. Motor induksi 3-fasa tipe sangkar 0,5Hp, 1,29Nm, 220V, 50Hz, 1400rpm, hubungan Y.

Selama proses simulasi, rotor di setting agar berputar pada kecepatan 1200rpm, $I_{d,ref}$ disetting pada nilai 1 A. Kemudian sistem disimulasi selama 3s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu merespon perubahan torsi beban dengan baik. Ketika torsi beban melonjak dari 0 Nm sampai 1Nm, sistem dapat menjaga rotor berputar dengan kecepatan 1760rpm. Ketika secara mendadak beban dihilang-

kan, motor berputar lebih cepat dari nilai referensinya selama 3ms, kemudian kembali berputar pada kecepatan 1200rpm.



Gambar 3. Kurva Respon Sistem Terhadap Perubahan Torsi Yang Mendadak



Gambar 4. Kecepatan Motor

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode *vector control* dengan skema *sensorless* yang digunakan pada aplikasi VSD SVPWM FSTPI mampu bekerja dengan baik saat pada kasus dinamis.
2. Ketika torsi beban melonjak dari 0 Nm sampai 0,15Nm, sistem dapat menjaga rotor berputar dengan kecepatan 1400rpm. Apabila secara mendadak beban dihilangkan, motor berputar lebih cepat dari nilai referensinya selama 3ms, kemudian kembali berputar pada kecepatan 1400rpm.

DAFTAR PUSTAKA

- Boldea, I., Nasar, S.A. 2010. *The Induction Machines Design Handbook, Second Edition*. Taylor And Francis Group, Llc. London
- Bose, B. K. 2006. *Power Electronics And Motor Drives: Advances And Trends*. Prentice Hall. New Jersey.
- Buso, S., Mattavelli, P. 2006. *Digital Control In Power Electronics*. Morgan & Claypool. Nebraska
- Corrêa, M. B. R.Jacobina, C., B. Silva, E. R. C., Lima, A. M. N. 2006. *A General PWM Strategy for Four-Switch Three-Phase Inverters*. IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 21, No. 6, November
- Dzung, P. Q., Phuong, L. M. 2007. "A Modified Space Vector Pwm Algorithm For Low-Cost Inverter Control." International Symposium on Electrical & Electronics Engineering, Track 3.
- Ma, T., T. 2011. *New Control Strategies for a Two-Leg Four-Switch STATCOM*. Honhkong: Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientist 2011, Vol. II.
- Mohanty, n. K., Muthu, R. 2010. *Microcontroller Based PWM Controlled Four Switch Three Phase Inverter Fed Induction Motor Drive*. Serbian Journal Of Electrical Engineering Vol. 7, No. 2, November, pp. 195-204
- Mohanty, N.K., Muthu, N. 2011. *A Novel Implementation of Xilinx FPGA Based Four Switch Three Phase IGBT Inverter Fed Induction Motor Drive Using PWM*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.48 No.3 pp.424-433. EuroJournals Publishing, Inc.
- Monfared, M., Rastegar, H., Kojabadi, H., M. 2008. *Overview of Modulation Techniques for the Four-Switch Converter Topology*. 2nd IEEE International Conference on Power and Energy

- (PECon 08), December 1-3, 2008, Johor Baharu, Malaysia
- Monfared, M., Rastegar, H., Kojabadi, H. M. 2010. *A Simple and Efficient Control Strategy for Four-Switch Three-Phase Power Converters*. Advances in Electrical and Computer Engineering Vol. 10, No. 1.
- Muralidhara, B. , Ramachandran, A., Srinivasan, A., Channa Reddy, M. 2010. *Space Vector PWM Signal Generation for a Three Phase Inverter and Hardware Implementation Using - Controller*. International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(10), pp. 5074-5979
- Neacsu, O.D. 2006. *“Power Switching Converter-Medium & high Power”*. Inggis, London: Taylor & Francis
- Niasar, A.H., Vahedi, A., Moghbelli, H. 2009. *“Low-cost sensorless control of four-switch, brushless DC motor drive with direct back-EMF detection”*. Journal of Zhejiang University SCIENCE, Vol. 10, Ed. 2, hal. 201-208.
- Quang, N. P., Dittrich, J. A. 2008. *Vector Control Of Three-Phase AC Machines*. Springer. Berlin
- Senturk, O., S., Nielsen, S.M., Teodorescu, R. Helle, L., dan Rodriguez, P. 2009. *A Single Leg Switched PWM Method for Three-phase H-Bridge Voltage Source Converters*. Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)-2008, IEEE, hal. 3137-3142
- Wilamowski, B. M., Irwin, J. D. 2011. *Power electronics and motor drives, The Industrial Electronics Handbook, 2nd edition*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC