

## ESTIMASI ARUS BEBAN PADA KONVERTER DAYA TIGA FASE SVPWM DENGAN MENGGUNAKAN OBSERVER LUENBERGER

<sup>1</sup>Hari Sutiksno, <sup>2</sup>Mochamad Ashari, <sup>3</sup>Mauridhi Hery Purnomo

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik Surabaya

[harisutiksno@gmail.com](mailto:harisutiksno@gmail.com)

<sup>2</sup>Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

[ashari@ee.its.ac.id](mailto:ashari@ee.its.ac.id)

<sup>3</sup>Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

[hery@ee.its.ac.id](mailto:hery@ee.its.ac.id)

### ABSTRAK

Dalam hal desain kontrol tegangan keluaran konverter daya 3 fase dengan umpan balik yang memanfaatkan besaran arus beban, metode estimasi dengan menggunakan observer diharapkan mampu mengatasi persoalan pengukuran arus.

Penelitian ini mengembangkan sebuah model observer Luenberger untuk konverter daya 3 fase Space Vector PWM dengan regulator arus saluran masuk. Penyederhanaan model observer dapat dilakukan pada tegangan keluaran DC dengan variasi yang relatif kecil. Hal ini dimungkinkan karena tegangan konverter daya bekerja dijaga konstan melalui sebuah kontroler dalam sistem kontrol tertutup.

Dalam simulasi, dilakukan pengujian model terhadap perubahan beban. Hasilnya menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian antara nilai estimasi dan arus bebannya.

Kata kunci: Observer, Konverter Daya, Regulator Arus, Pulse Width Modulation

### ABSTRACT

*In dc voltage control design of three-phase power converters with feedback where load current signal is used, estimation method using observer will be used to overcome the current measurement problem.*

*This research develops a simplified Luenberger observer model for three-phase power converters space vector PWM with line current regulator. In the simulation, output response of the observer is tested for load and control signal changes.*

*The simulation shows that the estimated output results of the observer are close to the load currents.*

*Keywords : Observer, Power Converter, Current Regulator, Pulse Width Modulation*

### 1. PENDAHULUAN

Implementasi SVPWM (Space Vector PWM) pada konverter daya 3 fase sampai saat ini masih banyak digunakan, sebab teknik ini memberikan beberapa keistimewaan antara lain adalah distorsi harmonisa yang rendah, efisiensi yang tinggi dan aliran daya dalam dua arah. Regulator arus jaringan masuk telah dipakai dalam konverter daya 3 fase untuk mendapatkan arus masuk yang sefase dengan amplitudo sebagai masukan sinyal kontrol.

Dalam desain sebuah kontrol, untuk mendapatkan tanggapan peralihan tegangan terhadap perubahan beban agar sesuai dengan spesifikasi dibutuhkan teknik umpan balik yang memanfaatkan besaran-besaran antara lain tegangan dan arus. Besaran-besaran tersebut dengan mudah diperoleh melalui penggunaan sensor. Untuk pengukuran arus listrik DC yang relatif besar, penggunaan sensor berupa resistor menimbulkan masalah seperti rugi daya dan ketidaklinieran elemen sensor.

Observer adalah sebuah sistem, yang memodelkan sebuah proses dengan memanfaatkan sinyal kontrol dan sinyal keluarannya, untuk mengestimasi besaran-besaran lain dalam proses tersebut.

Dalam makalah ini diusulkan sebuah observer untuk konverter daya 3 fase SVPWM dengan regulator arus dengan model yang disederhanakan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Konverter Daya Space Vector PWM

Hubungan antara tegangan dan arus jaringan masuk, serta pada sisi masukan rangkaian utama konverter daya (Gambar 1) dapat dinyatakan dengan beberapa persamaan-persamaan:

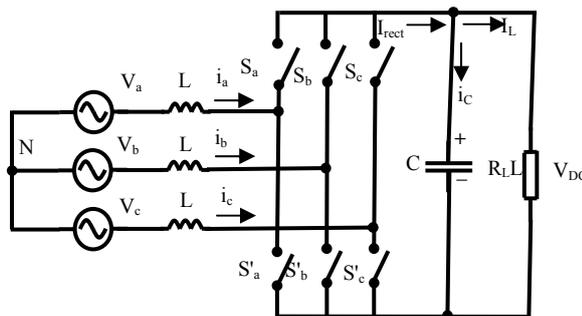
$$v_s = \mathbf{v}' + R\mathbf{i}_s + L \frac{d\mathbf{i}_s}{dt} \quad (1)$$

dengan

$$v_s = [v_a \quad v_b \quad v_c]^T \quad (2)$$

$$\mathbf{v}' = [v'_a \quad v'_b \quad v'_c]^T \quad (3)$$

$$\mathbf{i}_s = [i_a \quad i_b \quad i_c]^T \quad (4)$$



Gambar 1. Rangkaian Utama Konverter Daya Tiga-Fase

Selanjutnya hubungan antara tegangan konverter pada sisi masukan dan tegangan DC dengan posisi saklar sebagai parameter adalah sebagai:

$$\mathbf{v}' = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a(t) \\ S_b(t) \\ S_c(t) \end{bmatrix} v_{DC} \quad (5)$$

Hubungan antara arus konverter  $i_{rect}$  dan arus saluran masuk antara  $i_s$  adalah sebagai:

$$i_{rect} = [S_a(t) \ S_b(t) \ S_c(t)] i_s \quad (6)$$

Persamaan (1) menunjukkan bahwa amplitudo dan fase arus jaringan masuk dapat diatur melalui pengaturan tegangan  $v'$ , dan besarnya tegangan ini merupakan fungsi dari posisi saklar  $S_a$ ,  $S_b$ , dan  $S_c$  serta tegangan DC.

Pada sisi keluaran (sisi beban) hubungan antara arus beban, arus rectifier dan tegangan DC adalah sebagai:

$$i_{rect} = C \frac{dv_{DC}}{dt} + i_L \quad (7)$$

Persamaan (7) menunjukkan bahwa besarnya tegangan DC dipengaruhi oleh arus beban  $i_L$  dan arus rectifier  $i_{rect}$ . Berhubung dengan persamaan (6), tanggapan tegangan DC terhadap perubahan beban dapat dikontrol melalui kombinasi posisi saklar  $S_a$ ,  $S_b$ , dan  $S_c$ .

Teknik Space-Vector PWM merupakan sebuah algoritma untuk mengontrol pulsa-pulsa PWM untuk pembangkitan tegangan bolak-balik 3 fase, dimana tujuannya adalah untuk mereduksi distorsi harmonisa total dengan efisiensi yang tinggi. Jika sebuah konverter daya 3 fase yang diharapkan menghasilkan tegangan pada sisi AC sesuai tegangan referensi, maka sinyal referensi tersebut dinyatakan dengan sebuah space vector dengan transformasi abc- $\alpha\beta$ . Dari hasil transformasi ini, ditentukan duty-cycle untuk setiap kombinasi state.

## 2.2. Regulator Arus

Regulator arus berfungsi untuk mengontrol tegangan melalui pengaturan arus saluran masuk. Arus masuk ini diharapkan sefase dengan tegangan sumbernya atau

$$v_s(t) = \begin{bmatrix} v_a(t) \\ v_b(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_m \sin(\omega t) \\ V_m \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\ V_m \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \text{ dan } i_s(t) = \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_m \sin(\omega t) \\ I_m \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\ I_m \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix}$$

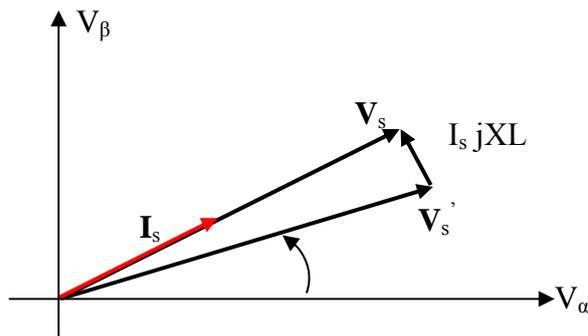
secara sederhana ditulis sebagai  $i_s(t) = kv_s(t)$ . Untuk mewujudkan hubungan tersebut, besar tegangan konverter pada sudut fase pada sisi AC yang dibangkitkan memenuhi hubungan sebagaimana terlihat pada gambar 2. Jika resistansi dalam induktor diabaikan, maka tegangan acuan dapat ditentukan berdasarkan tegangan sesaat sumber dan arus sesaat sumber sebagai:

$$v'_{ref}(t_n) = (1 - \frac{2uL}{T_s})v_s(t_n) - \frac{uL}{T_s}I(t_n - T_s) - \frac{L}{T_s}I(t) \quad (8)$$

dimana  $T_s$  adalah selang waktu pencuplikandan  $u$  adalah sinyal kontrol

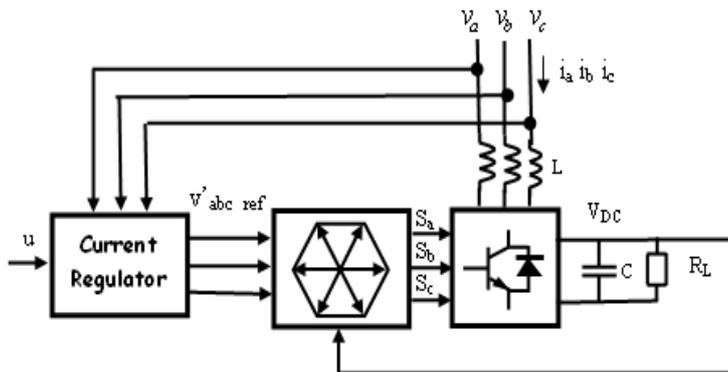
Sinyal kontrol  $u(t_n) = k = \frac{I_m}{V_m}$  untuk mendapatkan arus saluran yang sefase

dengan tegangan sumber dan dengan amplitudo  $I_m = kV_m$ .



Gambar 2. Diagram fasor Tegangan dan Arus Saluran Masuk

Dari gambar 3 menunjukkan bahwa sinyal kontrol digunakan untuk membangkitkan sinyal tegangan acuan  $v_{abc\ ref}$ , dan selanjutnya melalui algoritma SVPWM dihasilkan pulsa-pulsa kontrol  $S_a$ ,  $S_b$ , dan  $S_c$ . Perubahan resistansi beban tidak menyebabkan terjadinya perubahan arus saluran masuk, sebab amplitudo saluran masuk hanya ditentukan oleh sinyal kontrol  $u$ .



Gambar 3. Plant Konverter Daya 3 Fase SVPWM

### 2.3. Observer

Pengendalian tegangan DC terhadap perubahan beban dapat dilakukan dengan menggunakan kontroler yang memanfaatkan sinyal umpan balik dari tegangan atau arus DC dari konverter. Bilamana yang digunakan sebagai sinyal umpan balik adalah arus DC, penggunaan state observer memungkinkan untuk mendapatkan estimasi arus beban, sehingga sensor arus DC tidak diperlukan.

Secara umum untuk sebuah plant yang dinyatakan dalam pendekatan model linier, persamaan state dapat dinyatakan sebagai:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u \quad (9)$$

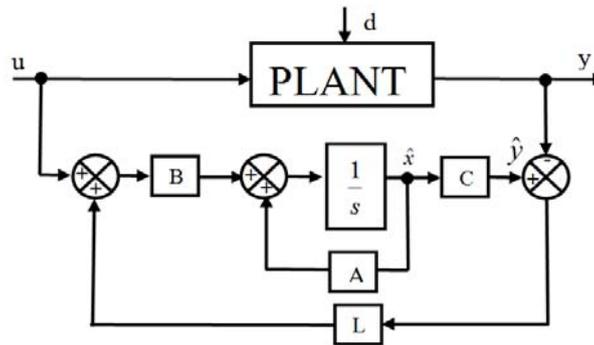
$$y = \mathbf{C}\mathbf{x} \quad (10)$$

dimana  $u$  adalah sinyal kontrol (masukan),  $y$  adalah keluarannya, dan  $\mathbf{x}$  adalah state dari plant.

Luenberger observer terdiri atas model linier dari plant dengan masukan  $u$  dan keluaran  $\hat{y}$  yang merupakan bagian duplikasi dari plant yang sesungguhnya dalam program; dan elemen umpan balik dengan sinyal masukan dari selisih antara sinyal keluaran  $\hat{y}$  dan sinyal keluaran plant  $y$ . Secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B}u + L(y - \mathbf{C}\hat{\mathbf{x}}) \quad (11)$$

Pemilihan penguatan L didasarkan atas nilai eigen dari matrix  $A-LC$ .



Gambar 3. Skema Luenberger Observer

### 3. DESAIN OBSERVER UNTUK KONVERTER DAYA TIGA-FASE SVPWM

Dalam gambar 4 desain kontroler sebuah plant konverter daya 3 fase SVPWM dengan regulator arus, estimasi sinyal umpan balik berupa arus DC dengan menggunakan state observer. Arus beban dalam diagram tersebut digambarkan sebagai sinyal gangguan yang mempengaruhi besarnya tegangan DC keluaran konverter daya. Model konverter dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sederhana sebagai hubungan antara daya masuk, daya tersimpan pada kapasitor, dan daya keluar, sebagai:

$$p_{out}(t) = p_{in}(t) + p_c(t) \quad (12)$$

$$\text{dimana } p_{in}(t) = 3v(t)i(t) = \frac{3}{2}V_m^2 u(t) \quad (13)$$

$$p_o(t) = V_{DC}(t)i_{DC}(t) \quad (14)$$

$$p_c(t) = V_c(t)i_c(t) = CV_{DC}(t) \frac{dV_{DC}(t)}{dt} \quad (15)$$

Dari persamaan (14),(15),(16) dan (17) diperoleh:

$$\frac{dV_{DC}(t)}{dt} = \frac{1}{C} \left[ i_{DC}(t) + \frac{3V_m^2}{2} \frac{u(t)}{V_{DC}(t)} \right] \quad (16)$$

Pada sistem kontrol umpan balik, tegangan keluaran konverter akan mengalami variasi yang relatif kecil di sekitar tegangan kerjanya ( $V_{DCO}$ ). Hal ini memungkinkan untuk melakukan penyederhanaan persamaan (18) menjadi:

$$\frac{dV_{DC}(t)}{dt} = \frac{1}{C} [i_{DC}(t) + G_1 u(t)] \quad (17)$$

dimana

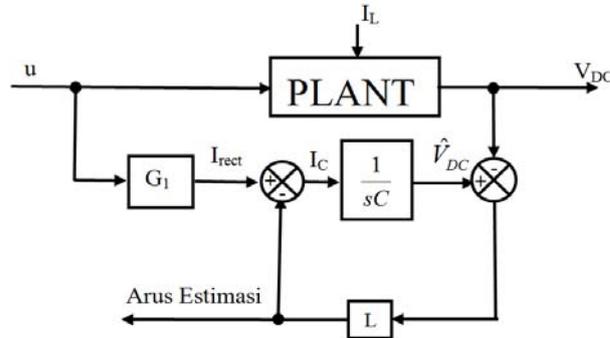
$$G_1 = \frac{3V_m^2}{2V_{DCO}}$$

Dengan demikian, dari persamaan state (11) matriks  $A=0$ ,  $B=G_1$ . Sedang untuk persamaan (12) nilai C adalah sama dengan  $1/C$  ( $C$ =kapasitansi konverter daya). Dalam gambar 4 sinyal umpan balik  $e$  tidak diumpankan bersama  $u$ , tetapi ke titik setelah sinyal  $u$  mendapatkan penguatan  $G_1$ . Ini berarti bahwa titik penjumlahan adalah titik dimana arus kapasitor merupakan hasil pengurangan arus penyearah  $I_{rect}$  dikurangi arus

beban  $I_L$  (estimasi). Penguatan L haruslah terdiri atas nilai proporsional dan integral atau dinyatakan:

$$I_{Lest} = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (18)$$

Pada kondisi tunak (*steady-state*) sinyal galat  $e_{ss}=0$ , sehingga integrator akan menggenggam (*hold*) arus estimasi beban.



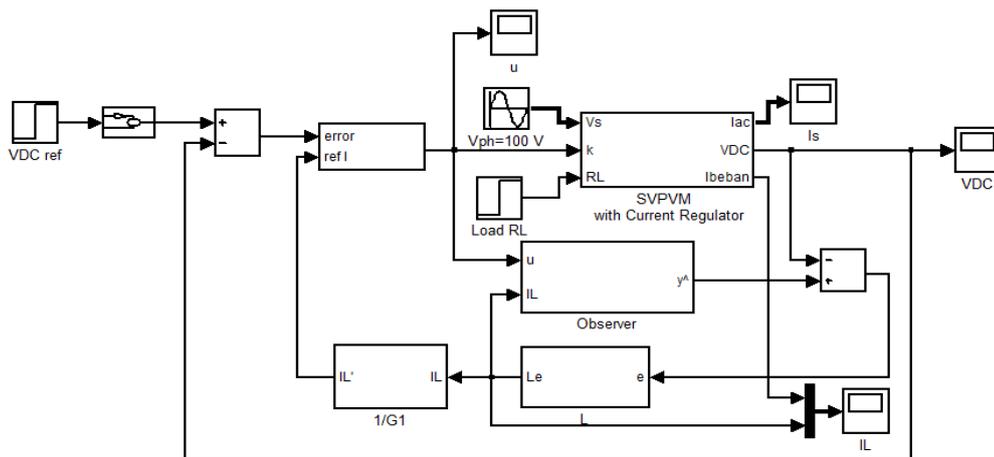
Gambar 4. Arus Estimasi

#### 4. HASIL SIMULASI

Parameter Konverter Daya 3 Fase yang disimulasikan adalah seperti terlihat pada tabel 1. Dalam simulasi konverter dilakukan pengamatan kondisi dinamis arus estimasi, dimana perubahan beban (dari beban penuh  $R_L=60$  ohm ke beban dengan  $R_L=240$  ohm) terjadi pada waktu  $t=0.3$  detik. Gambar 5 adalah diagram simulink Matlab 7.10 dari sistem kontrol konverter daya 3 fase SVPWM dengan regulator arus sebagai plant. Dalam simulasi ini dilakukan pengamatan arus beban (DC) hasil estimasi pada kondisi dinamis. Untuk menjamin variasi tegangan DC mengalami variasi kecil, peran kontroler dalam sistem umpan balik harus difungsikan

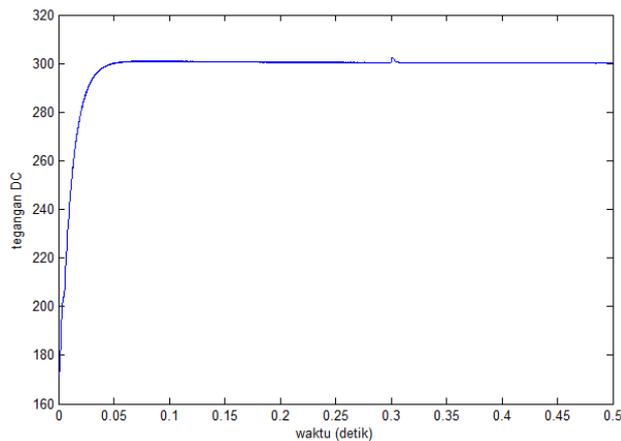
Tabel 1. Parameter Konverter Daya

Parameter	Nilai
Tegangan Fase	100 V peak
Frekuensi	50 Hz
Tegangan DC	300V
Induktansi Reaktor	300mH
Resistansi Internal	0.2 ohm
Kapasitansi	1000uF
Resistansi Beban pada Beban Penuh	60 ohm
Frekuensi Sampling	10kHz

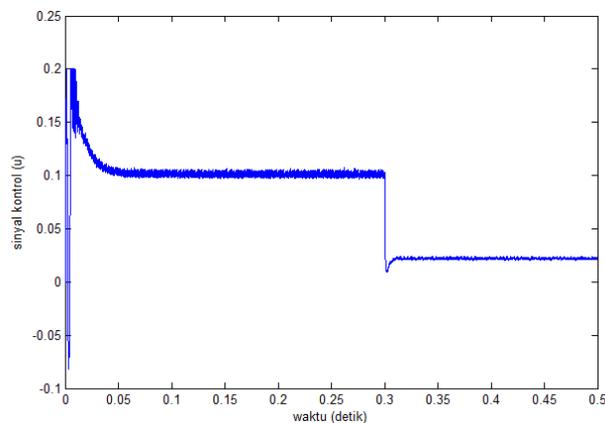


Gambar 5. Diagram Simulink Sistem Kontrol Konverter Daya

Gambar 6 menunjukkan bahwa setelah menuju tegangan kerja (300V), perubahan tegangan DC konverter terhadap perubahan beban dalam simulasi ini mengalami variasi yang relatif kecil saja (kurang dari 1%).



Gambar 6. Tanggapan Tegangan DC terhadap Perubahan Beban

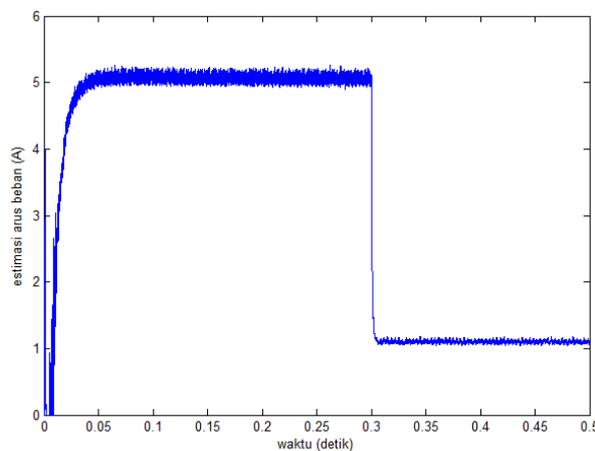


Gambar 7. Sinyal Kontrol

Sinyal kontrol  $u$  pada selang waktu 0 sampai 0.05 detik, melakukan perintah untuk memperbesar arus saluran masuk untuk pengisian tegangan kapasitor menuju 300V dengan nilai maksimum  $u=0.2$  atau amplitudo arus masuk sebesar 20A. Pada selang waktu 0.05 sampai 0.3 detik, sinyal kontrol  $u=0.1$  ( $I_m=10A$ ) untuk menjaga tegangan DC 300V pada beban penuh ( $R_L=60$  ohm) dan setelah waktu  $t=0.3$  detik,  $u=0.025$  ( $I_m=2.5A$ ) untuk menjaga tegangan pada beban dengan resistansi  $R_L=240$  ohm. Gambar 8 menunjukkan estimasi arus beban pada saat peralihan dari 0 sampai 0.05 detik mengalami perbedaan yang besar. Hal ini karena pada saat tersebut, tegangan DC mengalami transisi berupa kenaikan dari 173V menuju 300 V, sehingga estimator tidak memberikan hasil yang presisi. Pada beban penuh arus estimasi adalah sekitar 5A (dari 0.05 sampai 0.3 detik) yang sesuai dengan arus beban

$$I_L = \frac{300}{60} = 5A.$$

Sedang pada beban  $R_L=240$  ohm, estimasi arus beban memberikan hasil yang sama (1.25A).



Gambar 8. Estimasi Arus Beban

## 5. PENUTUP

Kesimpulan yang dapat ditarik antara lain adalah sebagai berikut:

1. Estimasi arus beban dengan menggunakan *state observer* dapat menghindari penggunaan sensor arus beban.
2. Penyederhanaan model observer Luenberger dapat dilakukan dengan menjaga variasi tegangan DC akibat perubahan beban adalah kecil. Ini dapat dilakukan jika sistem kontrol dalam kondisi lup tertutup.
3. Pada saat kondisi peralihan, hasil estimasi berbeda jauh dibandingkan nilai arus beban sebenarnya. Hal ini karena pada saat start, nilai awal integrator pada observer masih nol dan pada kapasitor telah berisi muatan dengan tegangan awal (173V).
4. Pemanfaatan sinyal estimasi arus beban memberikan tanggapan tegangan konverter daya terhadap perubahan beban menjadi lebih baik.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- George Ellis. *Observers in Control Systems*. Academic Press. 2002.
- Iqbal, A., Lamine, A., Ashra, I., Mohibullah. *Matlab/Simulink Model of Space Vector PWM for Three-Phase Voltage Source Inverter*. Universities Power Engineering Conference. 2006. UPEC '06. Proceedings of the 41st International. Vol. 3 pp. 1096–1100. 6-8 Sept 2006.
- Kocalmis, A., Sunter, S. *Simulation of a Space Vector PWM Controller For a Three-Level Voltage-Fed Inverter Motor Drive*. IECON 2006-32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics. pp. 1915–1920. 6-10 Nov 2006.
- Min, B.-D., Youm, J.-H., Kwon, B.-H. *SVM-based hysteresis current controller for three-phase PWM rectifier*. Electric Power Applications. IEE Proceedings. Vol 146, Issue 2, pp. 225–230. March 1999.
- Rathnakumar D., Lakshmana Perumal J., Srinivasan T. *A New Software Implementation of Space Vector PWM*. SoutheastCon. 2005. Proceeding IEEE, pp.131-136. September 2002.
- Saetio, S.; Torrey, D.A. *Fuzzy Logic Control of a Space-vector PWM Current Regulator for Three-phase Power Converters*. IEEE Transactions on Power Electronics. Vol.13, Issue 3 pp.125-133. May 1998.
- Sutiksno, H. Fadel, M. Haroen, Y. Ashari, M. Mauridhi, H.P. *Load Current Control for Three-phase Power Converter SVPWM with Current-regulation*. Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC) 2010. 14<sup>th</sup> International, pp.191-195. 6-8 Sept 2010.
- Zheng Zheng; Cong Wang; Haijun Tao. *Research on Three-phase PWM Rectifier Based on Predictive Control*. ICIT 2008. IEEE International Conference on Industrial Technology, pp.1-3. 21-24 April 2008.