

PENGENDALIAN TEGANGAN *INVERTER* 3 FASA MENGGUNAKAN *SPACE VECTOR PULSE WIDTH MODULATION (SVPWM)* PADA BEBAN FLUKTUATIF

(*VOLTAGE CONTROL OF 3 PHASE INVERTER USING SPACE VECTOR PULSE WIDTH MODULATION (SVPWM) ON FLUCTUATE LOAD*)

Faisyal Rahman, Azmi Saleh, Dedy Kurnia Setiawan
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: f_mcdohl@yahoo.com, azmi2009@gmail.com

Abstrak

Penggunaan sumber-sumber energi terbarukan yang menghasilkan sumber tegangan DC berkembang dengan pesat, namun perangkat AC lebih banyak digunakan dalam masyarakat sehingga diperlukan *inverter* untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Ada beberapa teknik pensaklaran yang digunakan dalam *inverter*. Pada tugas akhir ini akan dirancang dan diaplikasikan sebuah *inverter* 3 fasa dengan teknik pensaklaran *Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM)* pada beban fluktuatif yaitu fluktuatif seimbang, tidak seimbang dan fluktuasi waktu. Berdasarkan pada pengujian terhadap alat yang dibuat diberi bukti bahwa semakin besar fluktuasi beban yang digunakan maka penurunan tegangan pada inverter juga semakin besar hal ini terlihat pada hasil tegangan keluaran inverter 3 fasa yang turun dari 219 V hingga 205 V namun tingkat keefektifan *inverter* 3 fasa dengan metode *SVPWM* memiliki respon yang baik terhadap beban fluktuatif.

Kata Kunci: beban fluktuatif, energi terbarukan, inverter 3 fasa, *SVPWM*.

Abstract

Use of renewable energy sources that produce a DC voltage source is growing rapidly, but the AC device is more widely used in society that needed an inverter to convert the DC voltage into AC voltage. There are several techniques used in the inverter switching. This final project will be designed and applied a three phase inverter with Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) switching techniques on fluctuate load that is fluctuating balanced, unbalanced and time fluctuations. Based on testing of the tool it could be prove that the larger the load fluctuations are used then the voltage drop across the inverter is also larger as seen in the results of three phase inverter output voltage which dropped from 219 V to 205 V, but still the effectiveness of the three phase inverter with SVPWM method has a good response to fluctuate load.

Keywords: fluctuate load, renewable energy, *SVPWM*, three phase inverter.

PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini penggunaan sumber-sumber energi yang dapat diperbaharui yang menghasilkan sumber tegangan DC berkembang dengan pesat, sedangkan perangkat AC lebih banyak digunakan oleh masyarakat dibandingkan dengan perangkat DC. Pada dasarnya perangkat AC membutuhkan listrik tegangan tinggi yang diatur melalui variabel frekuensinya. Inverter adalah alat yang digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan mengatur tegangan dan frekuensi. Pada inverter besarnya tegangan output yang dihasilkan tergantung pada proses switching dari enam buah saklar semi konduktor [1]. Dalam metode *SVPWM*, referensi tegangan menggunakan vektor referensi bergulir. Dalam hal ini magnitude dan frekuensi dari komponen fundamental dikendalikan oleh besaran dan frekuensi dari vektor tegangan referensi. *SVPWM* menghasilkan harmonisa yang rendah pada inverter 3 fasa [2]. Metode ini diyakini baik karena selain menghasilkan harmonisa rendah respon

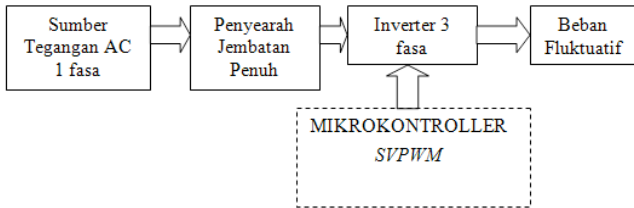
tegangan pada *SVPWM* cepat dan baik walaupun dibebani dengan beban yang berubah-ubah [3]. Beban Fluktuatif adalah beban yang berubah-ubah pada sistem tenaga listrik. Perubahan beban ini mengakibatkan fluktuasi pada tegangan sumber sehingga dapat membahayakan peralatan listrik yang digunakan [4].

Dalam penelitian ini diharapkan dapat mengatur pengendalian tegangan inverter 3 fasa dengan menggunakan teknik modulasi space vector pulse width modulation (*SVPWM*) untuk menguji unjuk kerja inverter yang dibuat dilakukan dengan pembebanan secara fluktuatif dengan beban resistif.

METODE PENELITIAN

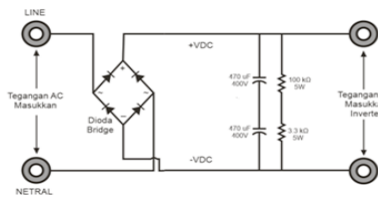
Blok diagram sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada pada gambar 1. Sumber tegangan AC 1 fasa dari jala-jala PLN akan disearahkan oleh penyearah jembatan penuh sehingga menjadi sumber tegangan DC karena masukan dari inverter adalah tegangan DC. Tegangan DC tersebut

akan diubah menjadi tegangan AC oleh *inverter*. Pengendalian perubahan tegangan DC menjadi AC oleh *inverter* menggunakan metode *SVPWM* diproses oleh mikrokontroler yang tersambung pada masing-masing gate pada saklar semi konduktor *inverter*. Tegangan output dari *inverter* tersebut dihubungkan dengan beban fluktuatif.



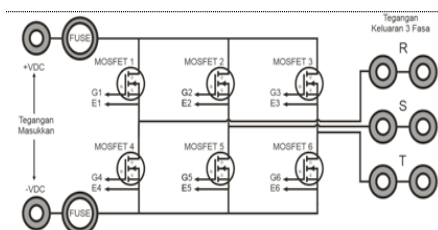
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Pada tugas akhir ini menggunakan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan dioda jembatan (*bridge*) dan sisi keluarannya dihubungkan paralel dengan 2 buah kapasitor bipolar 470 $\mu\text{F}/400\text{ V}$ yang masing-masing dihubungkan seri dan 2 buah resistor 100 $\text{k}\Omega/5\text{ W}$ dan 3,3 $\text{k}\Omega/5\text{ W}$ yang masing-masing dihubungkan seri pula seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Kapasitor ini digunakan supaya hasil tegangan dc lebih besar dan halus sedangkan resistornya digunakan untuk membuang muatan yang ada dalam kapasitor tersebut apabila sistem dalam keadaan berhenti.



Gambar 2. Rangkaian Penyearah

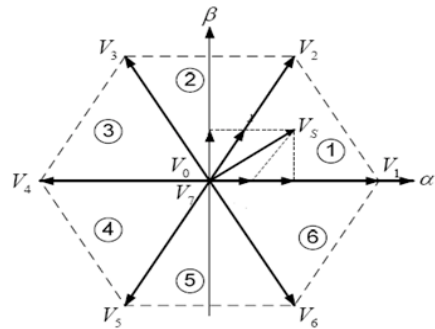
Inverter 3 fasa dirancang menggunakan 6 buah MOSFET, dimana masing-masing fasa menggunakan 2 buah MOSFET, MOSFET dalam tugas akhir ini menggunakan seri IRFP460 buatan IR yang memiliki Tegangan Drain-Source 500 V dan Arus Drain 20 A. seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Inverter 3 fasa

Teknik modulasi *SVPWM* yang akan dirancang ini akan diterapkan pada inverter 3 fasa. Inverter 3 fasa memiliki 6 saklar transistor yang kondisi on/off-nya selalu berkebalikan. Saklar atas adalah S1, S2, dan S3. Sedangkan saklar bawah adalah S4, S5, dan S6. Dari keenam transistor pada inverter, akan didapatkan 8

kombinasi kondisi *switching* yang akan membentuk vektor ruang seperti pada gambar 4. Kedelapan vektor ruang tersebut akan menghasilkan enam vektor aktif (V_1-V_6) dan dua vektor nol (V_0, V_7). Modulasi *SVPWM* ini nantinya akan menghasilkan tegangan keluaran tiga fasa sesuai dengan tegangan referensi yang diinginkan (V_{ref}). Dan dengan frekuensi *switching* dan pola *switching* yang tetap pada tiap sektor tegangannya.

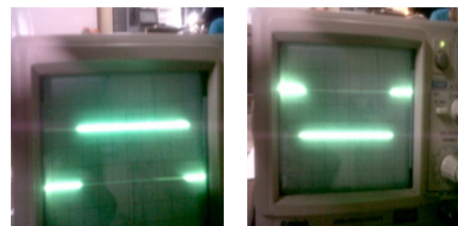


Gambar 4. Vektor Tegangan pada Inverter

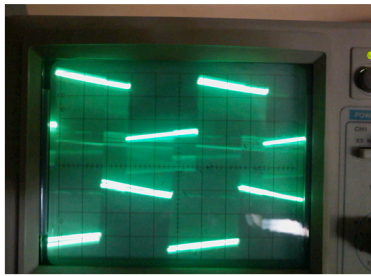
Pada penelitian ini pembebanan dilakukan menggunakan beban R fluktuatif yaitu dengan menggunakan lampu pijar yang dirangkai secara seimbang pada masing-masing fasa. Pembebanan dilakukan pada 7 tahap dengan besar beban yang berbeda-beda, yaitu 25, 60, 75, 100, 125, 160, 175 W. Pembebanan fluktuatif pada penelitian ini dibagi menjadi 3 kategori, yaitu : fluktuatif rendah, fluktuatif sedang, fluktuatif tinggi.

HASIL PENELITIAN

Pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil gelombang *trigger* pada *SVPWM* untuk sektor 1 pada mosfet 1 dan 4 dengan menggunakan osiloskop dengan $t/div= 2$ dan $v/div= 5$ ditunjukkan pada gambar 5. Untuk hasil gelombang keluaran inverter pada fasa R-S dan S-T menggunakan osiloskop dengan $t/div= 3,33$ dan $v/div= 2$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 5. Gelombang *trigger svpwm* sektor 1



Gambar 6. Tegangan keluaran inverter 3 fasa

Hasil penelitian yang didapatkan pada pembebanan fluktuatif seimbang, tidak seimbang, dan fluktuasi waktu pada inverter 3 fasa baik pada alat dan pada simulasi ditunjukkan pada tabel 1-6.

Tabel 1. Data Hasil Pembebanan Seimbang pada Alat

SKENARIO PEMBEBANAN							
FLUKTUASI BEBAN	WAKTU	BEBAN			TEGANGAN		
	(DETIK)	R	S	T	$V_{R-S}(V)$	$V_{S-T}(V)$	$V_{T-R}(V)$
RENDAH	0	15	15	15	218	218	218
	10	40	40	40	216	216	216
	20	25	25	25	217	217	217
	30	50	50	50	215	215	215
	40	65	65	65	214	214	214
SEDANG	0	50	50	50	215	215	215
	10	100	100	100	210	210	210
	20	40	40	40	216	216	216
	30	150	150	150	207	207	207
	40	65	65	65	214	214	214
TINGGI	0	75	75	75	213	213	213
	10	15	15	15	218	218	218
	20	175	175	175	205	205	205
	30	100	100	100	210	210	210
	40	25	25	25	217	217	217

Tabel 2. Data Hasil Pembebanan Seimbang pada Simulasi

SKENARIO PEMBEBANAN							
FLUKTUASI BEBAN	WAKTU	BEBAN			TEGANGAN		
	(DETIK)	R	S	T	$V_{R-S}(V)$	$V_{S-T}(V)$	$V_{T-R}(V)$
RENDAH	0	15	15	15	219	219	219
	15	40	40	40	217	217	217
	30	25	25	25	218	218	218
	45	50	50	50	216	216	216
	60	65	65	65	215	215	215
SEDANG	0	50	50	50	216	216	216
	10	100	100	100	212	212	212
	20	40	40	40	217	217	217
	30	150	150	150	209	209	209
	40	65	65	65	215	215	215
TINGGI	0	75	75	75	214	214	214
	2	15	15	15	219	219	219
	4	175	175	175	207	207	207
	6	100	100	100	212	212	212
	8	25	25	25	218	218	218

Tabel 3. Data Hasil Pembebanan Tidak Seimbang pada Alat

SKENARIO PEMBEBANAN								
FLUKTUASI BEBAN	WAKTU	BEBAN			TEGANGAN			E % Keseimbangan
	(DETIK)	R	S	T	$V_{R-S}(V)$	$V_{S-T}(V)$	$V_{T-R}(V)$	
RENDAH	0	15	40	65	216	215	216	0.93
	10	40	25	50	216	216	215	0.46
	20	25	65	15	215	216	217	0.93
	30	50	15	25	216	217	216	0.46
	40	65	50	40	214	215	215	0.47
SEDANG	0	50	150	200	211	205	209	2.88
	10	150	100	250	209	205	203	2.92
	20	40	25	50	216	216	215	0.46
	30	200	250	100	201	205	207	2.94
	40	65	50	40	214	215	215	0.47
TINGGI	0	175	100	275	208	205	201	3.42
	10	15	40	65	217	215	216	0.93
	20	100	75	175	212	209	208	1.91
	30	275	175	75	201	209	205	3.9
	40	25	65	15	215	216	217	0.93

Tabel 4. Data Hasil Pembebanan Tidak Seimbang pada Simulasi

SKENARIO PEMBEBANAN								
FLUKTUASI BEBAN	WAKTU	BEBAN			TEGANGAN			E % Keseimbangan
	(DETIK)	R	S	T	$V_{R-S}(V)$	$V_{S-T}(V)$	$V_{T-R}(V)$	
RENDAH	0	15	40	65	218	216	217	0.92
	10	40	25	50	217.5	217	216	0.69
	20	25	65	15	216	217	218	0.92
	30	50	15	25	217.5	218	217	0.46
	40	65	50	40	215	216.5	216	0.69
SEDANG	0	50	150	200	212	206	210	2.86
	10	150	100	250	210	206	205	2.41
	20	40	25	50	217.5	217	216	0.46
	30	200	250	100	203	206	208	2.43
	40	65	50	40	215	216.5	216	0.46
TINGGI	0	175	100	275	209	206	203	2.91
	10	15	40	65	218	216	217	0.92
	20	100	75	175	213	211	209	1.9
	30	275	175	75	203	210	206	3.39
	40	25	65	15	216	217	218	0.92

Tabel 5. Data Hasil Pembebanan pada Fluktuasi Waktu pada Alat

SKENARIO PEMBEBANAN							
FLUKTUASI WAKTU	WAKTU	BEBAN			TEGANGAN		
	(DETIK)	R	S	T	$V_{R-S}(V)$	$V_{S-T}(V)$	$V_{T-R}(V)$
RENDAH	0	15	15	15	218	218	218
	15	40	40	40	216	216	216
	30	25	25	25	217	217	217
	45	50	50	50	215	215	215
	60	65	65	65	214	214	214
SEDANG	0	15	15	15	218	218	218
	10	40	40	40	216	216	216
	20	25	25	25	217	217	217
	30	50	50	50	215	215	215
	40	65	65	65	214	214	214
TINGGI	0	15	15	15	218	218	218
	2	40	40	40	216	216	216
	4	25	25	25	217	217	217
	6	50	50	50	215	215	215
	8	65	65	65	214	214	214

Tabel 6. Data Hasil Pembebanan pada Fluktuasi Waktu pada Simulasi

SKENARIO PEMBEBANAN							
FLUKTUASI WAKTU	WAKTU	BEBAN			TEGANGAN		
	(DETIK)	R	S	T	$V_{R-S}(V)$	$V_{S-T}(V)$	$V_{T-R}(V)$
RENDAH	0	15	15	15	219	219	219
	15	40	40	40	217	217	217
	30	25	25	25	218	218	218
	45	50	50	50	216	216	216
	60	65	65	65	215	215	215
SEDANG	0	15	15	15	219	219	219
	10	40	40	40	217	217	217
	20	25	25	25	218	218	218
	30	50	50	50	216	216	216
	40	65	65	65	215	215	215
TINGGI	0	15	15	15	219	219	219
	2	40	40	40	217	217	217
	4	25	25	25	218	218	218
	6	50	50	50	216	216	216
	8	65	65	65	215	215	215

PEMBAHASAN

Dari tabel data hasil pembebanan seimbang pada alat maupun pada simulasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 dan 2 dapat dilihat terdapat perbedaan data hasil antara simulasi dan alat, hal ini dikarenakan pada simulasi komponen dalam keadaan ideal sehingga rugi-rugi maupun hambatan dalam komponen diabaikan. Dari data tersebut dapat diketahui beban fluktuatif seimbang mempengaruhi besarnya nilai tegangan output pada *inverter*. Yaitu semakin besar nilai fluktuasi beban maka penurunan tegangan pada *inverter 3 fasa* juga semakin besar. Dari tabel di atas dapat dilihat pada beban seimbang terjadi fluktuasi nilai tegangan keluaran yang mengikuti besarnya beban pada alat *inverter 3 fasa*. Penurunan tegangan paling besar diakibatkan oleh beban yang paling besar yaitu saat fluktuasi beban tinggi dengan beban 175 W pada tiap fasanya yang merupakan fluktuasi beban tertinggi tegangan keluaran turun hingga 205 V. Hal ini diakibatkan semakin besar beban yang digunakan pada rangkaian maka akan menghasilkan aliran arus yang semakin besar pula pada rangkaian sehingga menyebabkan drop tegangan yang semakin besar akibat panas yang dihasilkan oleh arus yang besar, hal ini juga terjadi pada tegangan keluaran pada simulasi, namun fluktuasi yang terjadi pada simulasi lebih kecil daripada alat yang dibuat yaitu sebesar 207 V.

Dari tabel hasil data pembebanan tidak seimbang baik pada alat maupun simulasi yang ditunjukkan pada tabel 3 dan 4 menunjukkan bahwa beban tidak seimbang mempengaruhi tegangan output pada *inverter*, beban tidak seimbang mengakibatkan nilai tegangan pada masing-masing fasa berbeda berdasarkan beban yang dipasang, besarnya beban mempengaruhi besarnya penurunan tegangan pada masing-masing fasa, semakin besar fluktuasi maka semakin besar pula penurunan tegangan pada output *inverter*. Ketidakseimbangan antara tegangan antar fasa yang terjadi masi tergolong rendah dilihat dari error ketidakseimbangan yang terjadi yaitu error ketidakseimbangan terbesar yang terjadi hanya 3,9 % pada

alat yang dibuat dan 3,39 % pada simulasi. Ini membuktikan bahwa respon *inverter* masih cukup tinggi dalam merespon ketidakseimbangan yang terjadi antar fasa pada tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *inverter 3 fasa*. Perbedaan data hasil antara simulasi dan alat, hal ini dikarenakan pada simulasi komponen dalam keadaan ideal sehingga rugi-rugi maupun hambatan dalam komponen diabaikan. Jika dilihat pada tabel di atas beda nilai yang terjadi masih dalam batas normal, ini menandakan bahwa terjadi perbedaan tegangan antar fasa pada alat juga terjadi pada simulasi yang dilakukan, sehingga dapat disimpulkan bahwa beban tidak seimbang mengakibatkan ketidakseimbangan pula pada tegangan keluaran dari *inverter 3 fasa*.

Dari tabel 5 dan 6 dapat dilihat bahwa tidak terjadi nilai perubahan tegangan pada berbagai macam *fluktuasi* waktu, hal ini menandakan bahwa respon *inverter* tidak berubah walaupun pembebanan fluktuatif dilakukan dengan selang waktu yang berbeda-beda sehingga dapat disimpulkan bahwa respon *inverter 3 fasa* yang dibuat stabil karena memiliki respon yang tetap walaupun selang waktu pada pembebanan fluktuatif bervariasi.

Pada penelitian ini kita juga melakukan analisis tentang pengaruh frekuensi *switching* terhadap bentuk gelombang tegangan keluaran pada *inverter 3 fasa*. Dari analisis yang dilakukan pada simulasi dapat disimpulkan bahwa frekuensi *switching* mempengaruhi bentuk gelombang keluaran dari *inverter 3 fasa*, semakin besar frekuensi *switching* yang digunakan maka semakin rapat pula bentuk gelombang keluaran dari *inverter 3 fasa*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian alat dan simulasi pengendalian tegangan *inverter 3 fasa* menggunakan *space vector pulse width modulation (svpwm)* pada beban fluktuatif, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Pembangkitan sinyal PWM tiga fasa dengan metode *SVPWM* dapat direalisasikan pada *inverter 3 fasa* menggunakan mikrokontroler. (2) Beban fluktuatif mengakibatkan penurunan tegangan pada *inverter 3 fasa*, hal ini dapat dilihat bahwa tegangan pada line to line turun dari 219 V hingga 205 V. Semakin besar fluktuasi beban yang digunakan maka semakin besar pula penurunan tegangan. Hal ini juga ditunjukkan pada simulasi yang dilakukan sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat kesesuaian antara teori pada simulasi dengan alat yang dibangun. (3) Pembebanan tidak seimbang pada *inverter 3 fasa* mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan pada tegangan antar fasa dengan ketidakseimbangan maksimal yang terjadi adalah 3,42 %. (4) Respon yang dihasilkan *inverter 3 fasa* akibat fluktuasi waktu yang varian baik pada simulasi maupun alat yang dibangun adalah sama. Yaitu saat fluktuasi waktu tinggi dan fluktuasi waktu rendah respon pada *inverter 3 fasa* adalah sama. (5) Semakin besar beban akan menghasilkan aliran arus yang semakin besar pada rangkaian sehingga menyebabkan drop tegangan yang semakin besar.

Untuk mendapatkan hasil tegangan keluaran inverter yang maksimal maka diperlukan studi lebih lanjut mengenai

suatu control umpan balik (*closed loop*) agar kestabilan tegangan keluaran *inverter* 3 fasa tetap terjaga walaupun dibebani dengan beban fluktuatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Bose, Bimal, "*Modern Power Electronics and AC Drive*," Prentice Hall (2002).
- [2] Wajiha Shireen, Srinivas Vanapalli, Hrishikesh Nene. "A DSP Based SVPWM Control for Utility Interactive Inverters used in Alternate Energy Systems,". IEEE Transactions on Industrial Electronics (2006).
- [3] Peter Pinewski. "Comparison of Space Vector Modulation Techniques based Indexes and Hardware Implementation," Electrical Engg. Department, Arizona State University (2008).
- [4] Robandi, Imam, "Desain Sistem Tenaga Modern". Yogyakarta : Andi.