
Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 12 NOMOR 2

AGUSTUS 2016

Disain SPWM Multilevel Inverter Satu Fasa Lima Belas Level

60-66

Effendi, Ira Devi Sara, dan Rakhmad Syafutra Lubis

JRE	Vol. 12	No. 2	Hal 41-72	Banda Aceh, Agustus 2016	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	-----------	-----------------------------	--------------------------------------

Disain SPWM Multilevel Inverter Satu Fasa Lima Belas Level

Effendi¹, Ira Devi Sara², dan Rakhmad Syafutra Lubis²

¹ Teknik Elektronika Industri Politeknik Aceh

Jl. Politeknik Aceh, Pango Raya, Banda Aceh 23119

² Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdulrauf No.7, Darussalam Banda Aceh 23111

email: effendi.bmk@gmail.com

Abstrak—*Multilevel inverter* (MLI) satu fasa 15 level ini disusun menggunakan rangkaian daya yang terdiri dari 7 buah MOSFET, 7 buah sumber DC bebas, 7 buah dioda serta satu buah rangkaian *H-Bridge*, metode pensaklaran yang digunakan pada MLI ini yaitu *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM) *multicarrier* dimana gelombang referensinya berupa gelombang sinusoidal, rangkaian SPWM *multicarrier* didesain menggunakan komponen elektronika berupa Op-Amp yang difungsikan sebagai komparator serta beberapa gerbang logika seperti AND, OR dan gerbang NOT untuk mentrigger S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, serta rangkaian *H-Bridge*. Gelombang *carrier* yang digunakan pada MLI ini dimodifikasi dari gelombang segitiga yang memiliki frekuensi menjadi gelombang yang tidak memiliki frekuensi (sumber DC) dimana THD yang dihasilkan menjadi 5,502% sementara metode yang menggunakan frekuensi seperti pada *Phase Disposition* PWM (PD PWM), *Phase Shift* PWM (PS PWM), dan *Carrier Overlapping* PWM (CO PWM) memiliki THD yang lebih besar dari metode yang diusulkan, sistem ini disimulasikan dengan menggunakan *software* PSIM.

Kata kunci: *multilevel inverter*, *SPWM*, *THD*, dan *PSIM*

Abstract—Fifteen level single phase multilevel inverter is constructed using power circuit consist of 7 MOSFETs, 7 independents DC sources, 7 diodes, and a H-Bridge circuit, switching method used in this MLI is sinusoidal pulse width modulation (SPWM) multicarrier where the reference wave in the form of a sinusoidal wave, multicarrier SPWM circuit is designed using electronic components such as Op-Amp that used as comparator and some logic gates such as AND, OR and NOT gate in order to trigger S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, and H-Bridge circuit. Carrier waves used in this MLI modified from the triangle wave that having a frequency into carrier waves without frequency (DC sources) where THD that generated into 5.502% while methods that use frequency such as Phase Disposition PWM (PD PWM), Phase Shift PWM (PS PWM), and Carrier Overlapping PWM (CO PWM) that produces THD greater than the proposed method, this system was simulated using PSIM software.

Keywords: *multilevel inverter*, *SPWM*, *THD*, dan *PSIM*

I. PENDAHULUAN

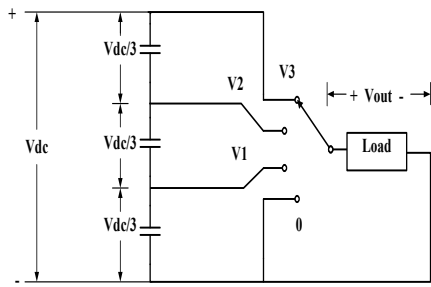
Pertumbuhan populasi penduduk Indonesia cenderung semakin meningkat hal ini ditandai dengan hasil sensus kependudukan dari tahun ke tahun, disisi lain peningkatan produksi dan jumlah peralatan elektronika yang memasuki wilayah Indonesia semakin pesat sehingga masyarakat dengan mudah dapat membeli peralatan tersebut, pertumbuhan penduduk dan meningkatnya jumlah peralatan elektronika di masyarakat akan diikuti oleh peningkatan konsumsi energi khususnya energi listrik. Energi listrik yang ada di Indonesia pada umumnya dihasilkan oleh sistem pembangkit yang menggunakan bahan bakar energi fosil dimana energi ini tidak dapat diperbaharui.

Ketersediaan energi fosil di alam memiliki cadangan yang terbatas, jika energi ini digunakan terus-menerus tanpa mencari solusi energi alternatif dipastikan Indonesia akan mengalami krisis energi dimasa depan. Pemanfaatan energi terbarukan merupakan salah satu solusi yang dapat

digunakan untuk mengurangi penggunaan energi fosil, seperti pemanfaatan *photovoltaic* untuk menghasilkan energi listrik dari sinar matahari, energi listrik yang dihasilkan dari *photovoltaic* dalam bentuk arus searah (DC) sehingga dibutuhkan perangkat elektronika berupa *inverter* untuk mengkonversikan menjadi energi listrik dalam bentuk arus bolak-balik (AC), untuk menghasilkan arus listrik bolak-balik yang mendekati bentuk gelombang sinusoidal dapat digunakan metode *multilevel*, semakin banyak *level* yang didesain maka semakin mendekati gelombang sinusoidal sehingga kualitas *Total Harmonic Distortion* (THD) yang dihasilkan semakin baik.

II. STUDI PUSTAKA

Multilevel inverter (MLI) secara umum bertujuan untuk menghasilkan gelombang *output* yang mendekati gelombang sinusoidal dengan memanfaatkan tegangan DC dari beberapa *level* [1],[2], dimana bentuk gelombang *output* berbentuk seperti gelombang tangga. Semakin



Gambar 1. Konsep dasar MLI dengan saklar satu pole.

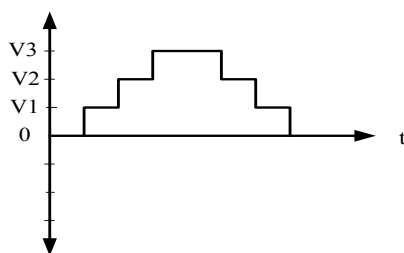
banyak jumlah *level* DC yang digunakan maka bentuk gelombang *output* dari *inverter* ini semakin mendekati gelombang sinusoidal serta total harmonik distorsinya akan semakin berkurang (mendekati nol) seiring bertambahnya jumlah *level* yang digunakan. Konsep dasar MLI dapat dilihat pada Gambar 1 dimana saklar yang digunakan berfungsi untuk memilih *level* tegangan yang akan dihubungkan dengan beban [1], sementara bentuk gelombang *output* pada beban ditunjukkan pada Gambar 2. Tegangan *output* dapat didefinisikan sebagai tegangan yang melintasi terminal *output* dari *inverter* terhadap titik *ground* [3].

A. Rangkaian MLI

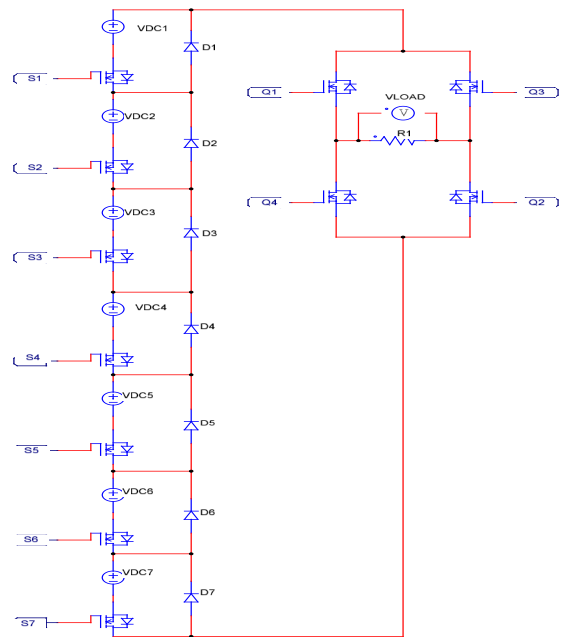
MLI pada penelitian ini menggunakan rangkaian daya yang dapat dilihat pada Gambar 3 yang terdiri dari satu buah rangkaian *H-Bridge*, 7 buah sumber DC bebas yang disusun secara seri dimana masing-masing sumber DC bebas dipisahkan oleh satu buah saklar berupa MOSFET serta menggunakan 7 buah dioda serta menggunakan beban resistif, urutan pensaklaran pada rangkaian MLI ini dapat dilihat pada Tabel 1 sementara bentuk gelombang *output* MLI pada beban resistif ditunjukkan pada Gambar 4 dimana tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 7VDC atau sejumlah susunan seri baterai yang digunakan, desain rangkaian logika pensaklaran masing-masing *gate* MOSFET (S1, S2, S3, S4, S5, S6, dan S7) dapat dilihat pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 11.

B. Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

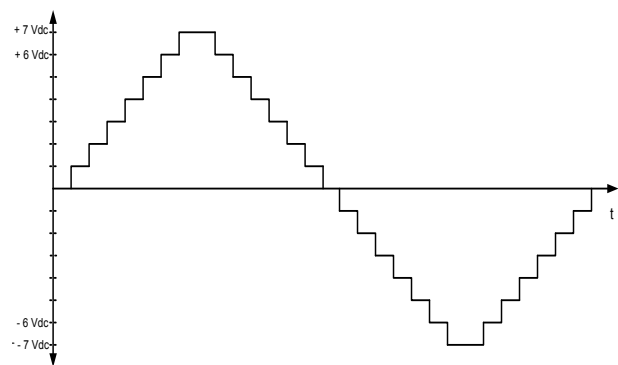
Metode *pulse width modulation* pada mulanya digunakan untuk sistem *inverter* konvensional, sistem ini kemudian dikembangkan untuk keperluan *inverter* dengan



Gambar 2. Gelombang output MLI dengan saklar satu pole.



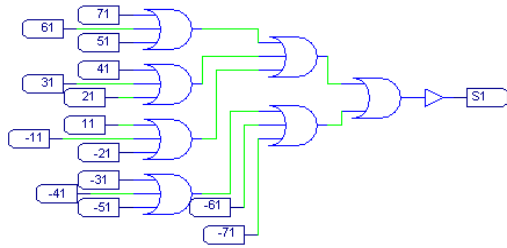
Gambar 3. Rangkaian daya



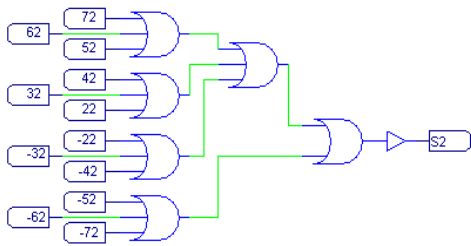
Gambar 4. Bentuk gelombang output MLI 15 level [4]

Tabel 1. Urutan pensaklaran switch

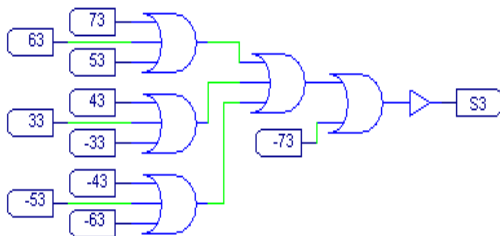
Voltage Levels	On Switch
+ 7Vdc	S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 Q1 Q2
+ 6Vdc	S1 S2 S3 S4 S5 S6 D7 Q1 Q2
+ 5Vdc	S1 S2 S3 S4 S5 D6 D7 Q1 Q2
+ 4Vdc	S1 S2 S3 S4 D5 D6 D7 Q1 Q2
+ 3Vdc	S1 S2 S3 D4 D5 D6 D7 Q1 Q2
+ 2Vdc	S1 S2 D3 D4 D5 D6 D7 Q1 Q2
+ 1Vdc	S1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 Q1 Q2
0 Vdc	D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 Q1 Q2
- 1 Vdc	S1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 Q3 Q4
- 2 Vdc	S1 S2 D3 D4 D5 D6 D7 Q3 Q4
- 3Vdc	S1 S2 S3 D4 D5 D6 D7 Q3 Q4
- 4Vdc	S1 S2 S3 S4 D5 D6 D7 Q3 Q4
- 5Vdc	S1 S2 S3 S4 S5 D6 D7 Q3 Q4
- 6Vdc	S1 S2 S3 S4 S5 S6 D7 Q3 Q4
- 7Vdc	S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 Q3 Q4



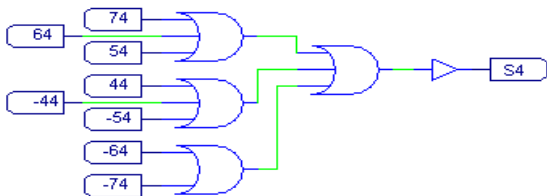
Gambar 5. Rangkaian pensaklaran S1



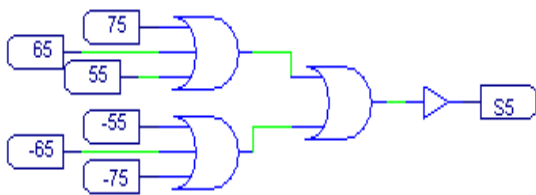
Gambar 6. Rangkaian pensaklaran S2



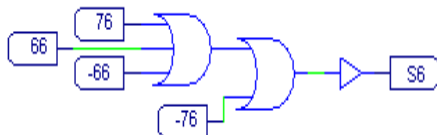
Gambar 7. Rangkaian pensaklaran S3



Gambar 8. Rangkaian pensaklaran S4



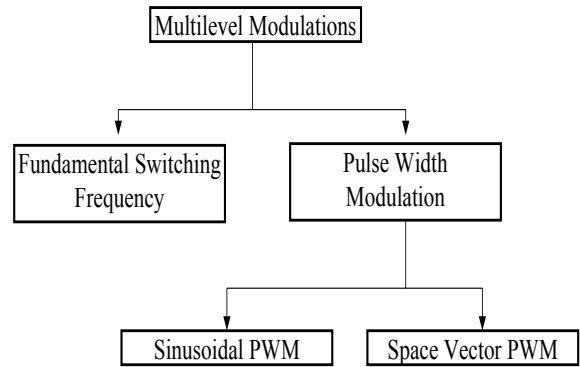
Gambar 9. Rangkaian pensaklaran S5



Gambar 10. Rangkaian pensaklaran S6



Gambar 11. Rangkaian pensaklaran S7



Gambar 12. Klasifikasi modulasi PWM multilevel [3],[5]

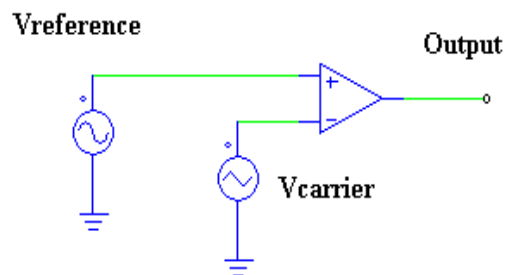
metode *multilevel* sehingga gelombang *output* yang dihasilkan mendekati bentuk sinusoidal, secara umum metodologi modulasi PWM ini dapat diklasifikasikan seperti ditunjukkan pada Gambar 12 [3].

Fundamental switching frequency merupakan metode yang digunakan untuk mengaktifkan setiap saklar dalam kondisi *on* dan *off* sekali dalam satu siklus dari frekuensi fundamental gelombang *output* dan menghasilkan gelombang berbentuk tangga [5]. *Pulse Width Modulation* memiliki bentuk gelombang *output* berbentuk pulsa dengan lebar pulsa dapat diatur sesuai dengan strategi kontrol yang digunakan seperti sinusoidal PWM atau *space vector* PWM.

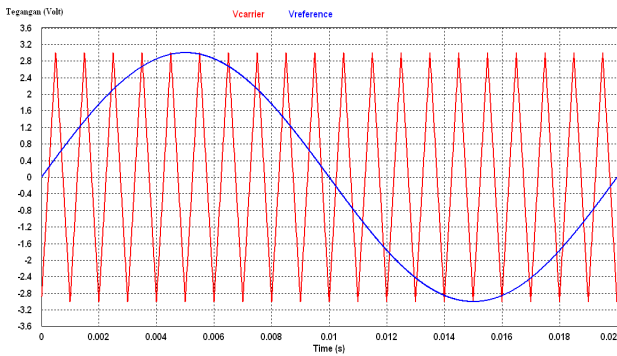
Rangkaian SPWM merupakan suatu sistem yang digunakan untuk menghasilkan gelombang pulsa dengan lebar modulasinya dapat diatur sesuai dengan perubahan gelombang referensi yang digunakan berupa gelombang sinusoidal, sistem ini menggunakan komparator sebagai pembanding antara $V_{reference}$ dengan gelombang $V_{carrier}$ berupa gelombang segitiga seperti ditunjukkan pada Gambar 13 [6].

Pada gambar rangkaian komparator SPWM diatas $V_{reference}$ dihubungkan dengan *input* komparator yang memiliki polaritas positif (+) sementara $V_{carrier}$ dihubungkan dengan *input* komparator yang memiliki polaritas negatif (-) bentuk gelombang *ouput* yang dihasilkan dari komparator mengikuti ketentuan sebagai berikut:

1. Jika amplitudo $V_{reference}$ lebih besar atau sama dengan amplitudo $V_{carrier}$ maka bentuk gelombang pulsa pada sisi *output* akan berlogika *High*.
2. Jika amplitudo $V_{reference}$ lebih kecil dari amplitudo



Gambar 13. Rangkaian komparator SPWM



Gambar 14. Perbandingan gelombang Vreference dengan Vcarrier

Vcarrier maka bentuk gelombang pulsa pada sisi output akan berlogika Low.

Bentuk gelombang output dari perbandingan gelombang Vreference dengan gelombang Vcarrier pada Gambar 14 dapat dilihat pada Gambar 15 dimana lebar pulsa yang dihasilkan mengacu terhadap hasil dari komparasi antara gelombang sinusoidal dengan gelombang segitiga.

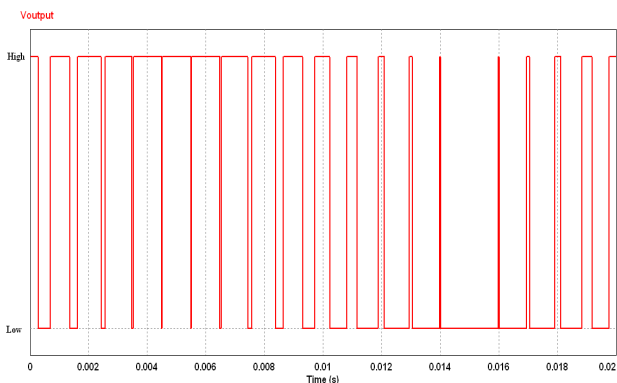
III. METODE SPWM MLI MULTI CARRIER

Rangkaian SPWM MLI 15 level seperti pada Gambar 16 menggunakan 14 buah frekuensi carrier yang terdiri dari 7 buah untuk mengaktifkan setengah siklus positif dan sisanya untuk mengaktifkan setengah siklus sisi negatif. Output dari Op-Amp digunakan untuk menggerakkan saklar S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, Q1, Q2, Q3, dan Q4 berdasarkan hasil perubahan amplitudo gelombang sinusoidal yang dikomparasikan dengan gelombang carrier.

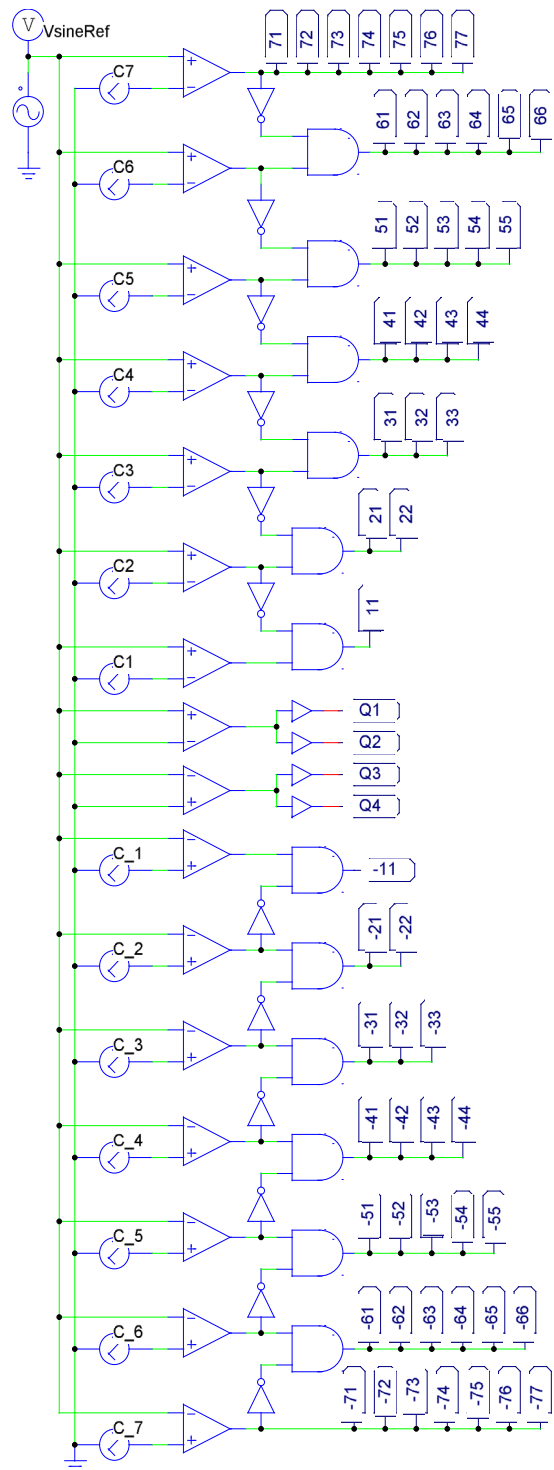
A. Phase Disposition PWM (PD PWM)

Pada metode PD PWM ini setiap gelombang carrier memiliki frekuensi, amplitudo serta fasa yang sama tetapi memiliki DC offset yang berbeda untuk setiap carrier sesuai Gambar 17 [7],[8].

B. Phase Shift PWM (PS PWM)



Gambar 15. Bentuk gelombang SPWM

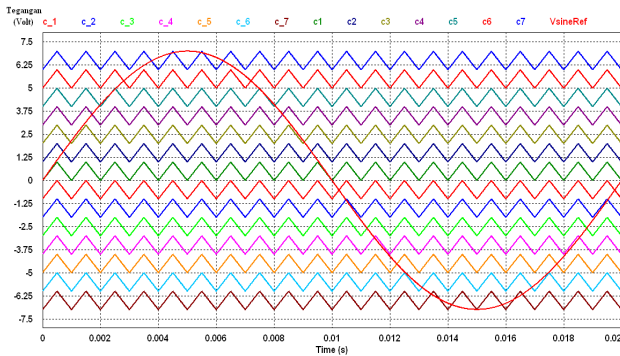


Gambar 16. Rangkaian SPWM multicarrier

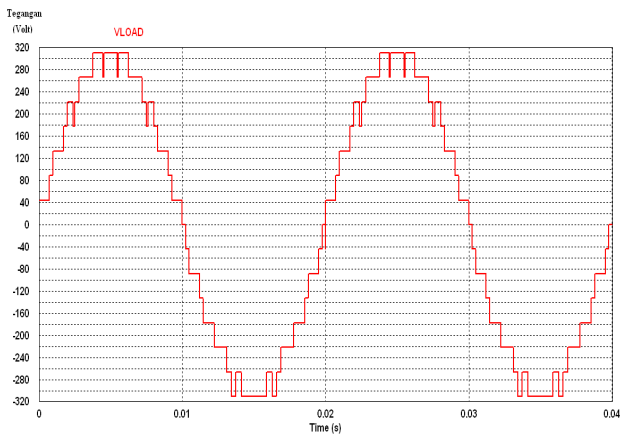
Pada metode PS PWM ini setiap gelombang carrier memiliki amplitudo dan frekuensi yang sama dan mengalami pergeseran fasa satu dengan yang lainnya sebesar 25.714° seperti ditunjukkan pada Gambar 18 [8].

C. Carrier Overlapping PWM (CO PWM)

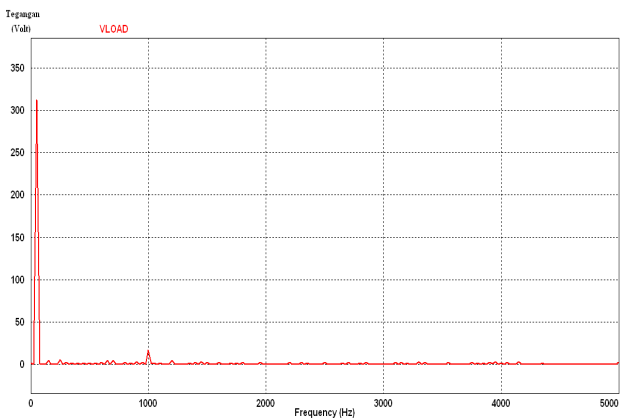
Pada metode CO PWM menggunakan frekuensi dan amplitude puncak ke puncak yang sama dari masing-



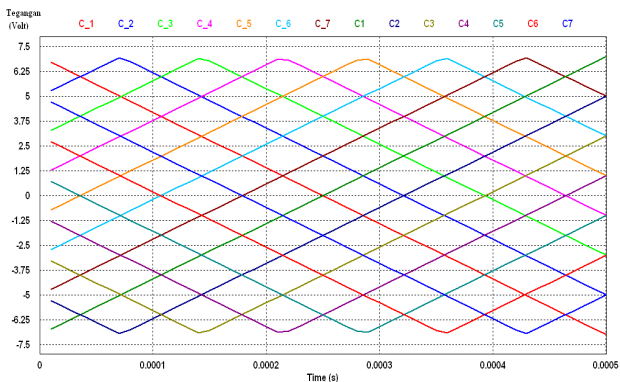
Gambar 17. Bentuk gelombang multicarrier PD PWM



Gambar 18. Gelombang output MLI PDPWM



Gambar 19. Harmonisa MLI PDPWM



Gambar 20. Bentuk gelombang multicarrier PS PWM

masing gelombang carrier, gelombang *carrier* ini disusun saling tumpang tindih (*overlap*) sehingga separuh dari amplitudo gelombang *carrier* tumpang tindih dengan gelombang *carrier* yang berdekatan seperti ditunjukkan pada Gambar 19 sementara untuk gelombang referensi sinusoidal berada dititik tengah dari CO PWM [8].

D. Disain Usulan SPWM Multi Carrier

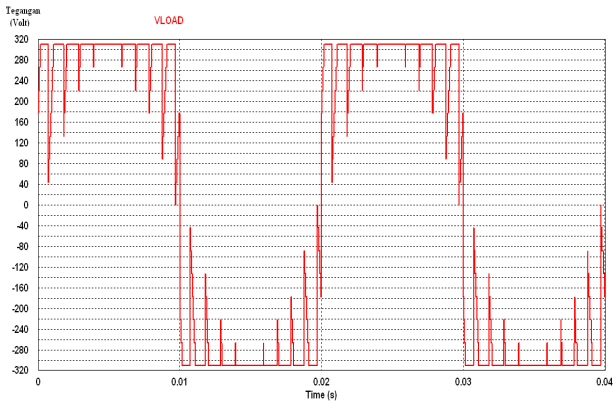
Disain rangkaian MLI 15 *level* yang diusulkan pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengganti gelombang *carrier* yang memiliki frekuensi dengan tegangan sumber DC seperti ditunjukkan pada Gambar 20 dimana masing-masing sumber tersebut mempunyai nilai tegangan tersendiri sesuai dengan Tabel 2, V_{mak} merupakan amplitudo maksimum dari gelombang tegangan referensi berupa gelombang sinusoidal dengan frekuensi 50 Hz, adapun bentuk gelombang *Multicarrier* dengan tegangan sumber DC dapat dilihat pada Gambar 21.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

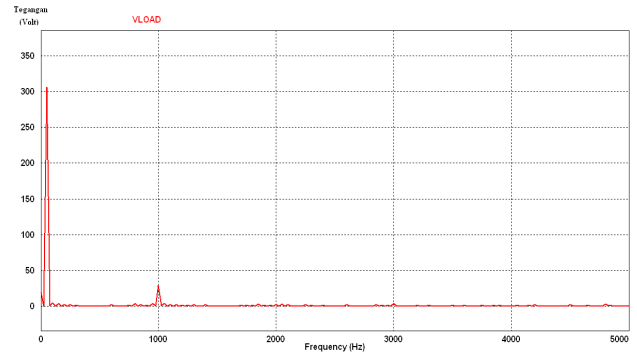
Bentuk gelombang output MLI dengan menggunakan metode carrier PSPWM seperti pada Gambar 22 menghasilkan THD sebesar 8.292%, bentuk harmonisnya dapat dilihat pada Gambar 23. Bentuk gelombang output MLI dengan menggunakan metode carrier PSPWM tampak pada Gambar 24 menghasilkan THD sebesar 42.337%, bentuk harmonisnya dapat dilihat pada Gambar 25. Bentuk gelombang output MLI dengan menggunakan metode carrier COPWM seperti pada Gambar 26 menghasilkan THD sebesar 14.659% bentuk harmonisnya dapat dilihat pada Gambar 27. Bentuk gelombang output MLI dengan menggunakan metode multicarrier tegangan sumber DC bebas seperti pada Gambar 28 menghasilkan THD sebesar 5.502%.

Tabel 2. Tegangan carrier SPWM

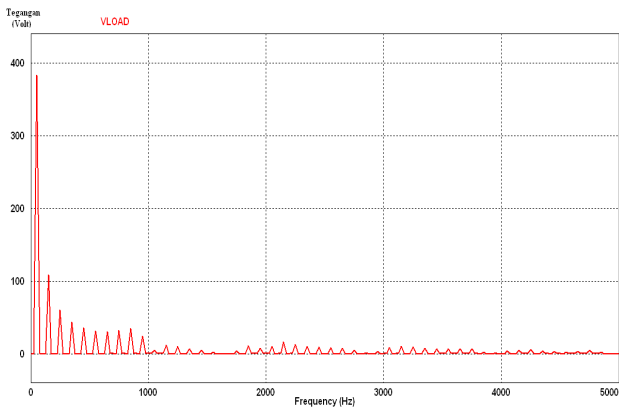
No	Nama	Vdc Carrier
1	V1	13/14Vmak
2	V2	11/14Vmak
3	V3	9/14Vmak
4	V4	7/14Vmak
5	V5	5/14Vmak
6	V6	3/14Vmak
7	V7	1/14Vmak
8	V_1	-1/14Vmak
9	V_2	-3/14Vmak
10	V_3	-5/14Vmak
11	V_4	-7/14Vmak
12	V_5	-9/14Vmak
13	V_6	-11/14Vmak
14	V_7	-13/14Vmak



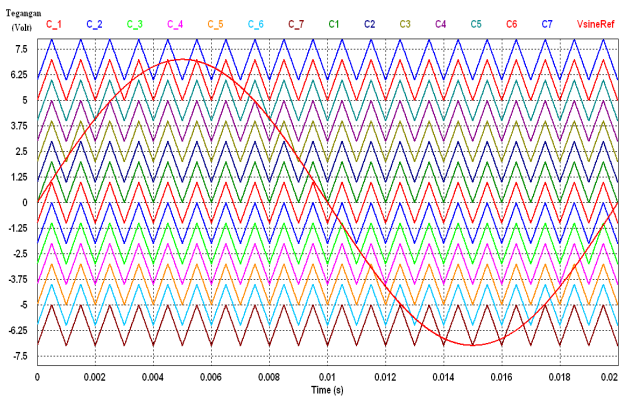
Gambar 21. Gelombang output MLI PSPWM



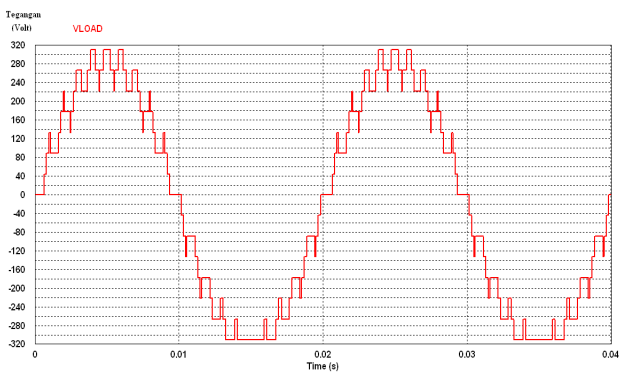
Gambar 25. Harmonisa MLI COPWM



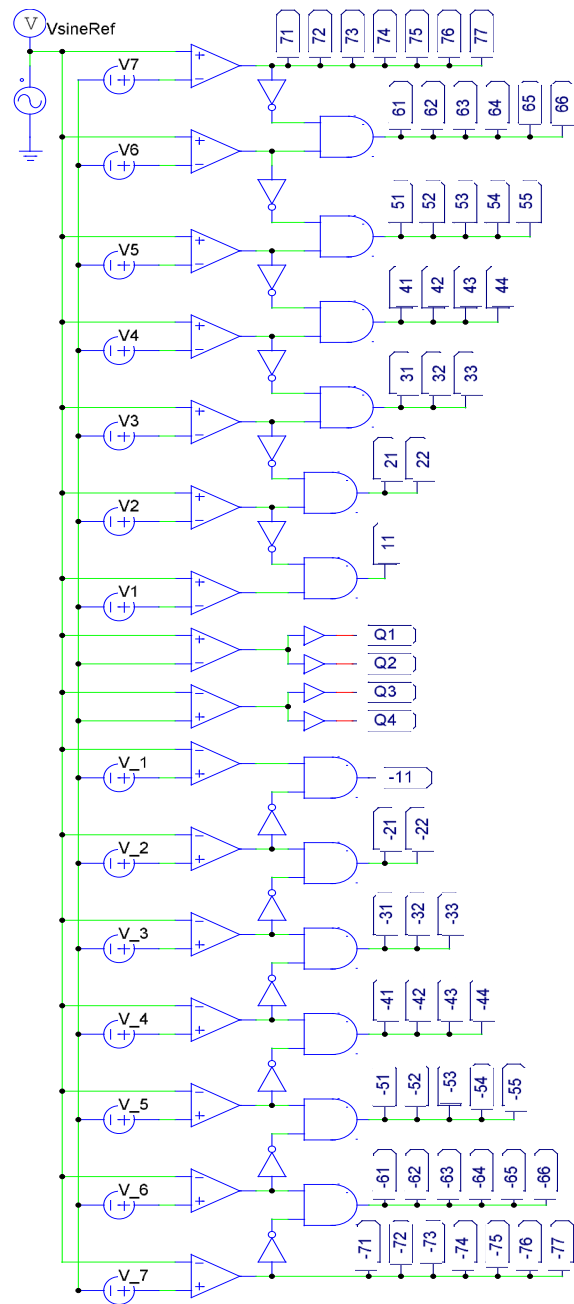
Gambar 22. Harmonisa MLI PSPWM



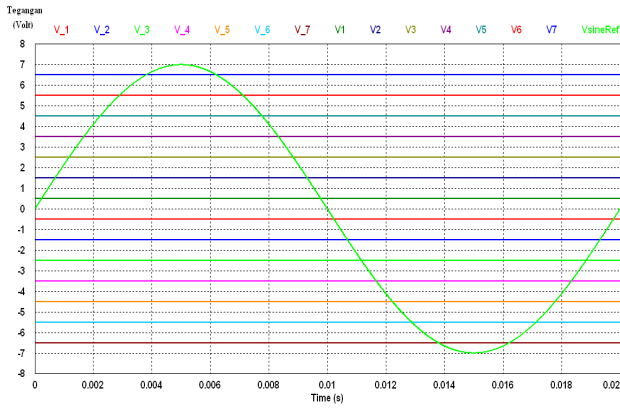
Gambar 23. Bentuk gelombang multicarrier CO PWM



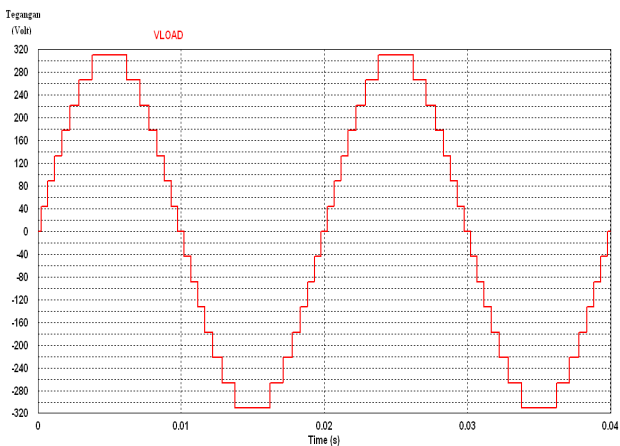
Gambar 24. Gelombang output COPWM



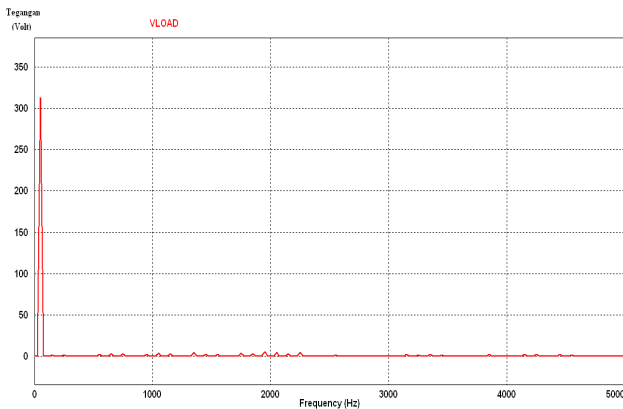
Gambar 26. Rangkaian SPWM yang diusulkan



Gambar 27. Multicarrier dengan tegangan sumber DC



Gambar 28. Output MLI multicarrier dengan tegangan sumber DC



Gambar 29. Harmonisa MLI multicarrier dengan tegangan sumber DC

Tabel 3. Perbandingan metode PWM

No	Metode	THD (%)
1	PDPWM	8.292
2	PSPWM	42.337
3	COPWM	14.659
4	Metode Baru	5.502

Perbandingan nilai THD dari masing-masing metode PWM yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

V. KESIMPULAN

Disain SPWM MLI satu fasa 15 level yang diusulkan pada penelitian ini menggunakan carrier berupa tegan DC (tidak memiliki frekuensi), dengan menggunakan software simulasi PSIM sistem ini menghasilkan THD 5,502 %, sementara jika menggunakan gelombang carrier yang memiliki frekuensi seperti pada metode PDPWM, PSPWM, COPWM sistem ini menghasilkan THD lebih besar, sehingga metode yang digunakan ini mampu mengurangi nilai THD dari gelombang output MLI.

REFERENSI

- [1] R. Mechouma, H. Aboub, B. Azoui, "Multicarrier wave dual reference very low frequency PWM control of a nine levels NPC multi-string three phase inverter topology for photovoltaic system connected to a medium electric grid", 49th International Universities Power Engineering Conference, Cluj-Napoca, Romania, pp. 388-393, Sept 2014.
- [2] A. Kumar, P. Bansal, "A Novel Symmetrical Multilevel Inverter Topology with Reduced Switching Devise Using Different PWM Techniques", Electrical Electronics Signals Communication and Optimization (EESCO) International Conference, Jan 2015.
- [3] M. H Rashid, "Power Electronics circuits, devices, and applications", 3th Ed, New Jersey, Person Prentice Hall, 2004.
- [4] S.Sivasankari, C. R. Balamurugan, "Fifteen Level Cascaded Multilevel Inverter Using Embedded Controller", International Journal of Information Science and Intelligent System, 3(1):1-7, 2014.
- [5] J. Sabarad, G. H. Kulkarni, "Comparative Analysis of SPWM and SPWM Techniques for Multilevel Inverter", International Conference on Power and Advanced Control Engineering, Bengaluru, India, pp. 232-237, Aug 2015.
- [6] P. H. Zope, P. G. Bhangale, P. Sonare, S. R. Surlkar, "Design and Implementation of Carrier Based Sinusoidal PWM Inverter", International Journal of Advaced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering", vol.1, issue.4, pp.230-236, Oct 2012.
- [7] S. Vadhiraaj, K. N. Swamy, dan B.P .Divakar, "Generic SPWM Technique for Multilevel Inverter", 5th IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC 2013), Hong Kong, Dec 22013
- [8] T. R. Kuphaldt, "Lessons In Electric Circuits Volume IV-Digital", 4th Ed, 2007.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

