

Studi Analisis Perbandingan PWM Carrier Untuk Multilevel Inverter Tiga Fasa Lima Belas Level Dengan Sumber Input Simetris Terpisah

¹Effendi, ²M. Agil Haikal

¹Program Studi Teknologi Elektronika, Politeknik Aceh

²Teknik Elektro Universitas Darul Ulum Jombang

¹effendi@politeknikaceh.ac.id, ²agil.haikal86@gmail.com

email : effendi@politeknikaceh.ac.id

Article Info

Article history:

Received January 19th, 2022

Revised March 23th, 2022

Accepted Mei 10th, 2022

Keyword:

Inverter

Multi Level Inverter

PWM

ABSTRACT

Inverters are used to convert direct current or DC (Direct Current) sources into alternating current sources or AC (Alternating Current). A method is needed to make the output waveform close to a sinusoidal waveform. The Multi Level Inverter (MLI) method has a large number of levels and is closer to a sinusoidal wave. The three-phase MLI design with a separate symmetrical input source in this study is able to produce a three-phase output wave, where the resulting Total Harmonic Distortion (THD) value is smaller, namely 5.65% when using the Modified PWM method where the carrier signal has no frequency.

Copyright © 2022 Jurnal JEETech.

All rights reserved.

Corresponding Author:

Effendi

Program Studi Teknologi Elektronika Politeknik Aceh

email : effendi@politeknikaceh.ac.id

Abstraks Inverter digunakan untuk mengubah sumber arus searah atau DC (*Direct Current*) menjadi sumber arus bolak-balik atau AC (*Alternating Current*). Diperlukan perlukan metode untuk membuat gelombang output mendekati gelombang sinusoidal. Metode *Multi Level Inverter* (MLI) mempunyai banyak jumlah level dan semakin mendekati gelombang sinusoidal. Desain MLI tiga fasa dengan sumber input simetris terpisah pada penelitian ini mampu menghasilkan gelombang output tiga fasa, dimana nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) yang dihasilkan lebih kecil yaitu sebesar 5,65 % apabila menggunakan metode Modifikasi PWM dimana sinyal carrier tidak memiliki frekuensi.

Kata Kunci: *Inverter, Multi Level Inverter, PWM*

I. Pendahuluan

Perangkat elektronika yang dapat mengubah sumber arus searah atau DC (*Direct Current*) menjadi sumber arus bolak-balik atau AC (*Alternating Current*) dikenal dengan istilah Inverter [1][2]. Inverter dengan jenis output gelombang kotak (*square wave*) dapat digunakan pada aplikasi-aplikasi yang

menggunakan daya rendah dan menengah sementara untuk aplikasi daya tinggi dibutuhkan gelombang output yang mendekati gelombang sinusoidal yang memiliki *Total Harmonic Distortion* (THD) yang lebih baik [2].

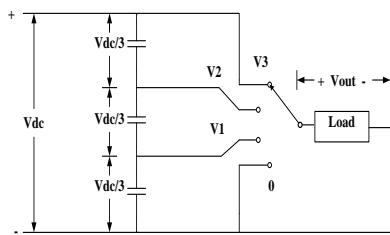
Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghasilkan gelombang output mendekati gelombang sinusoidal adalah dengan metode multi level inverter (MLI) di mana semakin banyak jumlah level yang didesain maka luaran MLI tersebut semakin mendekati gelombang sinusoidal dengan demikian persentase THD yang dihasilkan semakin kecil [1] [3].

Multilevel inverter berlandaskan pada kenyataan bahwa gelombang sinusoidal dapat dinyatakan dengan pendekatan gelombang bertingkat dengan jumlah tingkatan yang banyak, dimana tingkatan tersebut dihasilkan dari sumber arus searah yang memiliki level tegangan yang berbeda sesuai dengan kebutuhan[4].

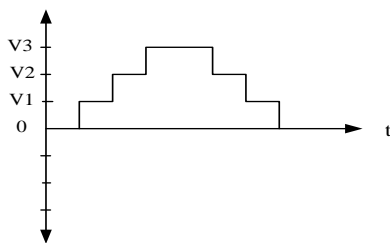
II. Metode Penelitian

Inverter dengan jenis multilevel secara umum bertujuan untuk menghasilkan gelombang output yang mendekati

gelombang sinusoidal dengan menggunakan sumber arus searah yang disusun menjadi beberapa tingkatan[1][5], di mana gelombang luaran berbentuk seperti gelombang tangga. Secara umum konsep dasar sistem kerja MLI dapat dilihat pada gambar 1 dimana saklar berfungsi untuk memilih level tegangan yang akan dihubungkan dengan beban [5]. Tegangan luaran dapat didefinisikan sebagai tegangan yang melintasi terminal luaran dari inverter terhadap titik *ground* [1], seperti ditunjukkan pada gambar 2 di mana bentuk gelombang luarannya berbentuk tangga yang memiliki amplitudo maksimum sebesar V_{dc} , pada saat terhubung dengan titik 0 maka beban akan menghasilkan tegangan 0 Volt, jika dititik V1 maka tegangan pada beban sebesar $V_{dc}/3$, sementara jika saklar berada pada titik V2 maka tegangan pada beban menjadi $2V_{dc}/3$ volt.



Gambar 1. Konsep dasar MLI dengan saklar satu pole. [1]



Gambar 2. Gelombang output MLI dengan saklar satu pole [1].

a) Rangkaian Daya MLI 3 Fasa

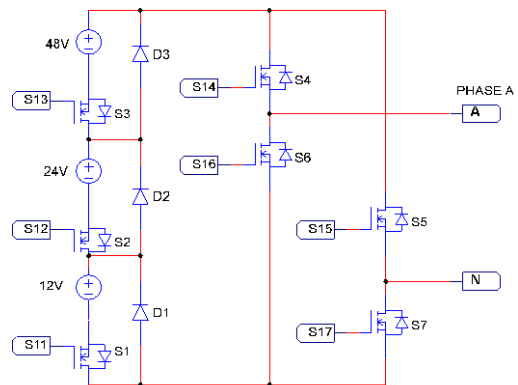
Rangkaian daya MLI 3 fasa yang digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 3, masing-masing fasa terdiri dari satu buah rangkaian *H-Bridge*, tiga buah sumber DC bebas yang disusun secara seri di mana masing-masing sumber DC bebas dipisahkan oleh satu buah saklar serta menggunakan tiga buah dioda, adapun jumlah saklar yang digunakan sebanyak 7 buah saklar [6], dengan menggunakan tegangan sumber V1, V2, dan V3 sebesar 12, 24, dan 48 Volt.

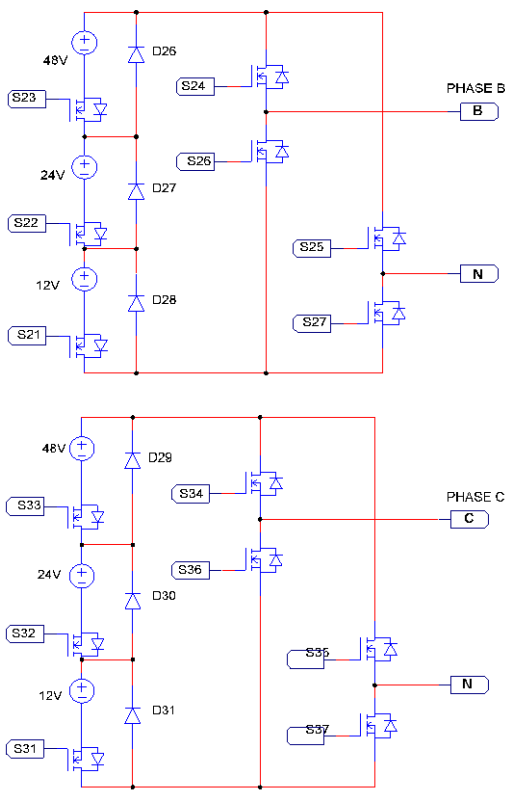
Untuk menghasilkan output mendekati gelombang sinusoidal maka saklar (MOSFET) harus diaktifkan sesuai dengan urutannya seperti ditunjukkan pada Tabel 1, dimana x menyatakan fasa yang akan digunakan.

Tabel 1. Urutan pensaklaran MLI

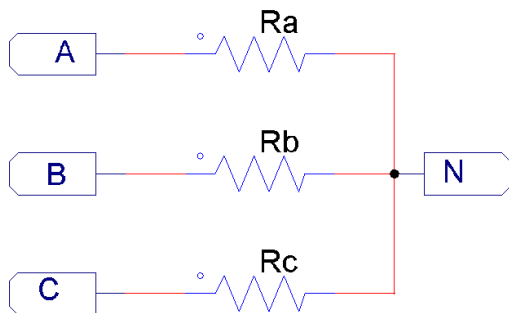
Voltage Level	SWITCHS						
	Sx1	Sx2	Sx3	Sx4	Sx5	Sx6	Sx7
0	0	0	0	1	0	0	1
12	1	0	0	1	0	0	1
24	0	1	0	1	0	0	1
36	1	1	0	1	0	0	1
48	0	0	1	1	0	0	1
60	1	0	1	1	0	0	1
72	0	1	1	1	0	0	1
84	1	1	1	1	0	0	1
-12	1	0	0	0	1	1	0
-24	0	1	0	0	1	1	0
-36	1	1	0	0	1	1	0
-48	0	0	1	0	1	1	0
-60	1	0	1	0	1	1	0
-72	0	1	1	0	1	1	0
-84	1	1	1	0	1	1	0

Pada penelitian ini beban yang digunakan bersifat resistif dan terhubung secara bintang (Y) seperti pada Gambar 4, adapun pengukuran output dilakukan pada fasa terhadap netral, Van menyatakan tegangan yang diukur dari fasa A ke netral, Vbn menyatakan tegangan yang diukur dari fasa B ke netral, sementara Vcn menyatakan tegangan yang diukur dari fasa C ke titik netral sistem (N).





Gambar 3 Rangkaian daya MLI 3 Fasa



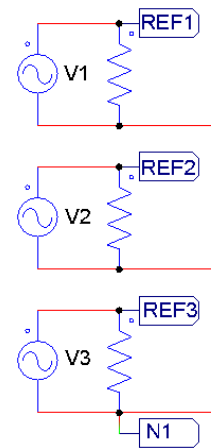
Gambar 4 Rangkaian Beban

b). Topologi Strategi Modulasi SPWM untuk MLI 3 Fasa

Modulasi SPWM merupakan suatu metode yang digunakan untuk menghasilkan gelombang pulsa dengan lebar modulasinya dapat diatur sesuai dengan perubahan gelombang referensi yang digunakan (gelombang sinusoidal). Pada metode SPWM bentuk gelombang sinyal referensi pada umumnya adalah gelombang dalam bentuk sinusoidal murni [7]. Gelombang referensi yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari gelombang arus sinusoidal tiga fasa, sementara sumber $V_{carrier}$ terdiri dari beberapa variasi yaitu *Phase*

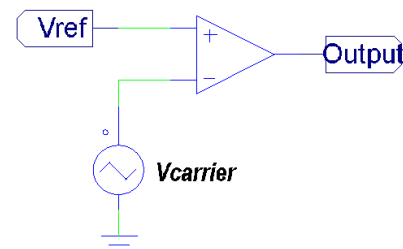
Disposition PWM (PD PWM), Phase Opposition Disposition PWM (POD PWM), Carrier Overlapping PWM (CO PWM) dan Modifikasi PWM.

Pada penelitian ini gelombang referensi yang digunakan berupa gelombang sinusoidal sebanyak 3 buah dan memiliki sudut fasa yang berbeda sebesar 120° satu dengan lainnya. Gelombang sinusoidal pada fasa 1 digunakan sebagai referensi 1 (Ref1), begitu juga dengan gelombang sinusoidal pada fasa 2 dan 3 digunakan sebagai referensi 2 dan 3 (Ref 2 dan Ref 3) seperti di tunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Refrensi 3 Fasa.

Dengan menggunakan komponen operational amplifier seperti pada gambar 6, gelombang Ref1 selanjutnya dibandingkan dengan gelombang *carrier* yang memiliki nilai bervariasi sesuai dengan metode yang digunakan.



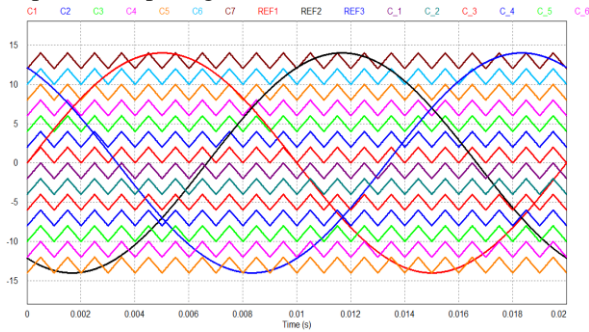
Gambar 6. Rangkaian komparator

Adapun jumlah op-amp yang digunakan sebanyak 7 buah untuk menggerakkan pensaklaran pada sisi level positif (L01, L11, L21, L31, L41, L51, L61, L71), sementara pada sisi level negatif op-amp yang digunakan sebanyak 6 buah (L_11, L_21, L_31, L_41, L_51, L_61), dengan demikian jumlah level secara keseluruhan sebanyak 15 *level* pada fasa A, dengan menggunakan metode yang sama akan didapatkan jumlah

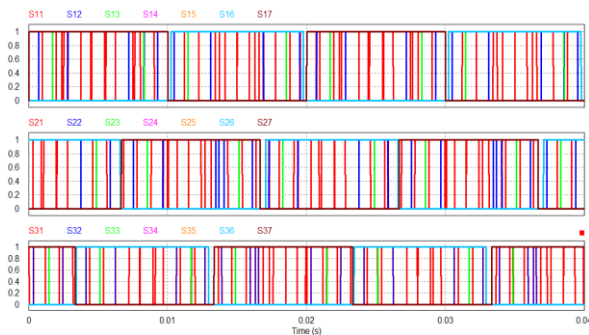
level sebanyak 15 pada fasa B dan juga sebanyak 15 level pada fasa C.

1. Phase Disposition PWM (PD PWM)

Pada metode ini semua sinyal carrier memiliki frekuensi, amplitudo, dan sudut pisa yang sama namun memiliki DC offset yang berbeda untuk setiap sinyal carrier seperti pada gambar 7 [8], adapun bentuk pulsa pensaklaran MOSFET dapat dilihat pada gambar 8.



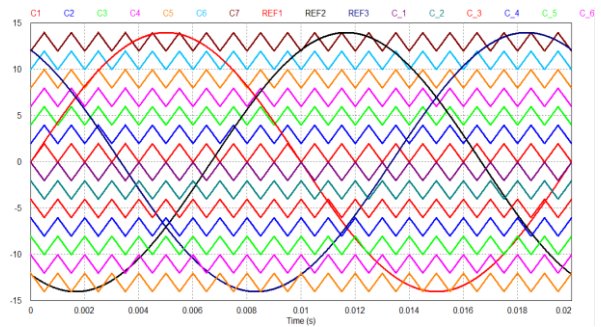
Gambar 7 Gelombang carrier dan refrensi pada PD PWM



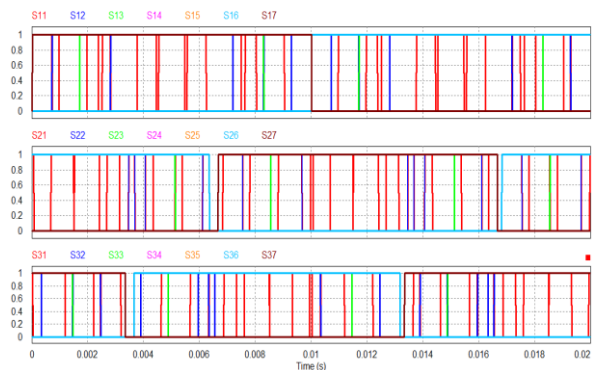
Gambar 8. Gelombang pulsa pensaklaran MOSFET PD PWM

2. Phase Opposition Disposition PWM (POD PWM)

Pada metode POD PWM ini seluruh sinyal carrier memiliki frekuensi dan amplitudo yang sama namun berbeda dengan sudut fasanya, dimana pada sisi setengah siklus positif gelombang sinyal referensi sudut fasa carrier sebesar 0° sementara setengah siklus negative sudut fasa carrier memiliki sudut fasa 180° [9] seperti ditunjukkan pada gambar 9 sementara gelombang pulsa pensaklarannya dapat dilihat pada gambar 10.



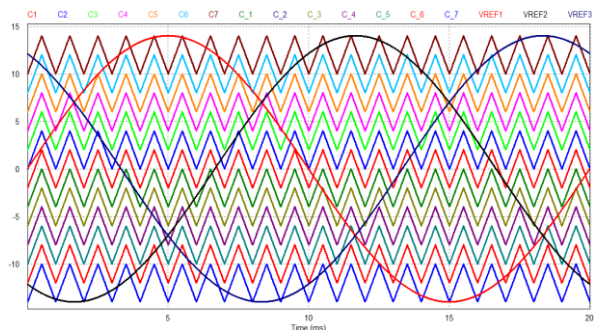
Gambar 9 Gelombang carrier dan refrensi pada POD PWM



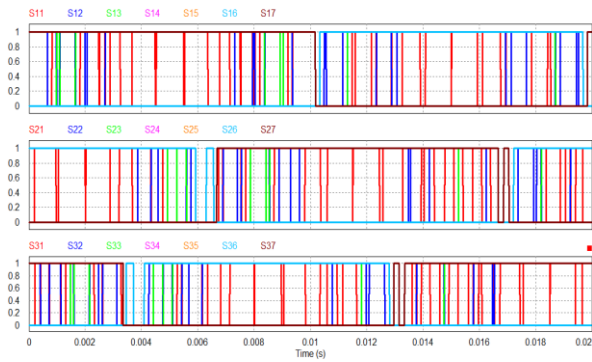
Gambar 10 Gelombang pulsa pensaklaran MOSFET POD PWM

3. Carrier Overlapping PWM (CO PWM).

Pada metode CO PWM ini seluruh sinyal carrier memiliki frekuensi yang sama dan memiliki amplitudo puncak ke puncak yang sama, sinyal carrier ditempatkan sedemikian rupa sehingga pita yang mereka dapatkan saling tumpang tindih sampai setengah dari amplitudonya, dan sinyal referensi dipusatkan di tengah sinyal carrier [9] seperti ditunjukkan pada gambar 11 sementara gelombang pulsa pensaklarannya ditunjukkan pada gambar 12.



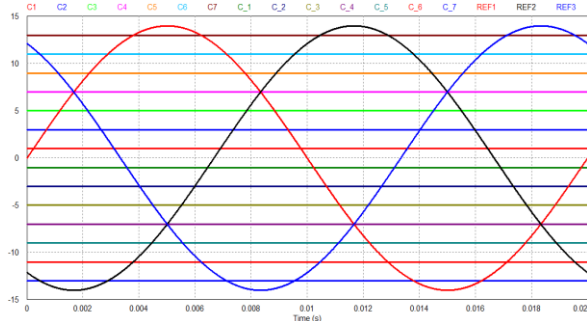
Gambar 11 Gelombang carrier dan refrensi pada CO PWM



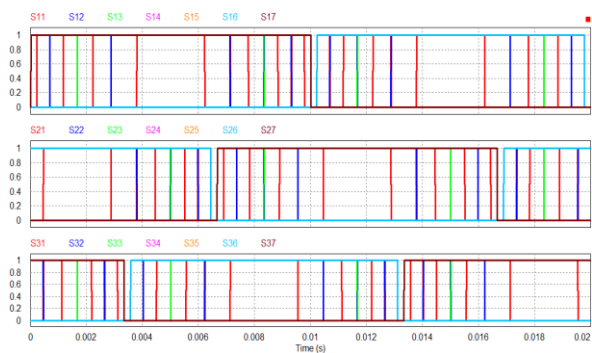
Gambar 12 Gelombang pulsa pensaklaran MOSFET CO PWM

4. Modifikasi PWM

pada metode ini sinyal *carrier* yang digunakan bersumber dari tegangan DC bebas yang memiliki tegangan yang sama namun memiliki DC offset berbeda-beda sesuai dengan posisi level yang dibandingkan seperti ditunjukkan pada gambar 13 sementara gelombang pulsa pensaklarannya dapat di lihat pada gambar 14.



Gambar 13 Gelombang carrier dan refrensi pada Modifikasi PWM



Gambar 14 Gelombang pulsa pensaklaran Modifikasi PWM

c. Total Harmonic Distortion (THD)

THD dapat didefinisikan sebagai hasil perbandingan total nilai tegangan *root mean square* (rms) dari keseluruhan komponen harmonik gelombang luaran terhadap nilai tegangan rms komponen dasarnya, secara matematika

persamaan umumnya dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2) [1][2][3].

$$THD = \frac{\sqrt{V_{rms}^2 - V_1^2(rms)}}{V_1^2(rms)} \tag{1}$$

$$V_{(rms)} = \sqrt{V_1^2(rms) + V_3^2(rms) + \dots + V_n^2(rms)} \tag{2}$$

di mana:

$V_1^2(rms)$ = nilai tegangan rms untuk harmonik ke 1

$V_n^2(rms)$ = nilai tegangan rms untuk harmonik ke n

Nilai tegangan rms pada harmonik ke n dapat dicari dengan menggunakan analisis deret Fourier seperti pada persamaan (3) hingga (6) [1][2][3].

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \tag{3}$$

di mana:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \tag{4}$$

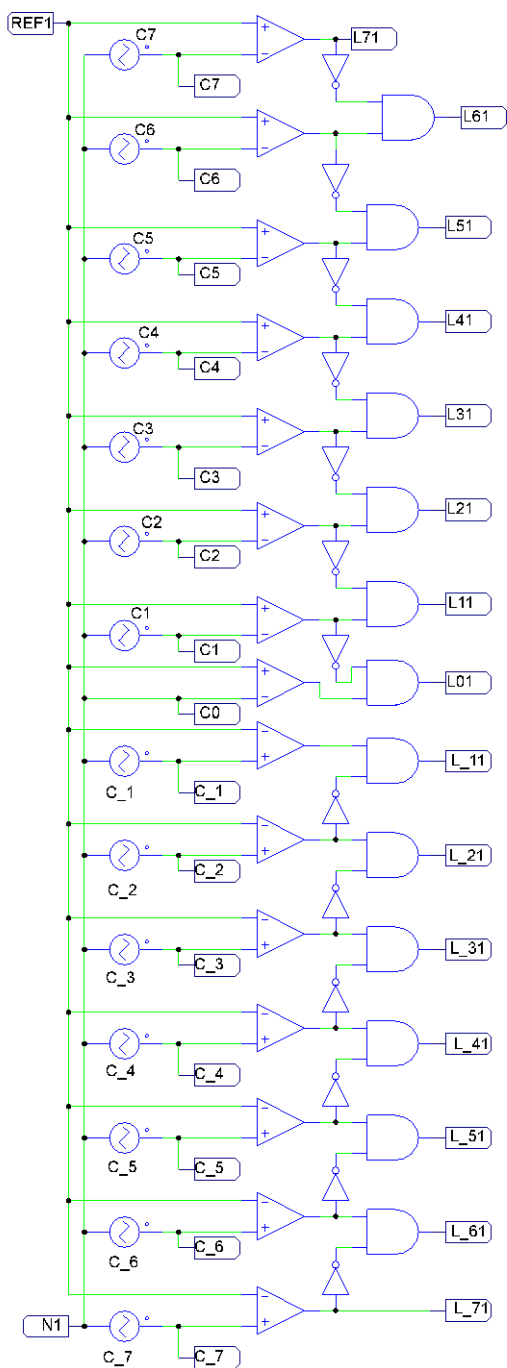
$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega_0 t dt \tag{5}$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega_0 t dt \tag{6}$$

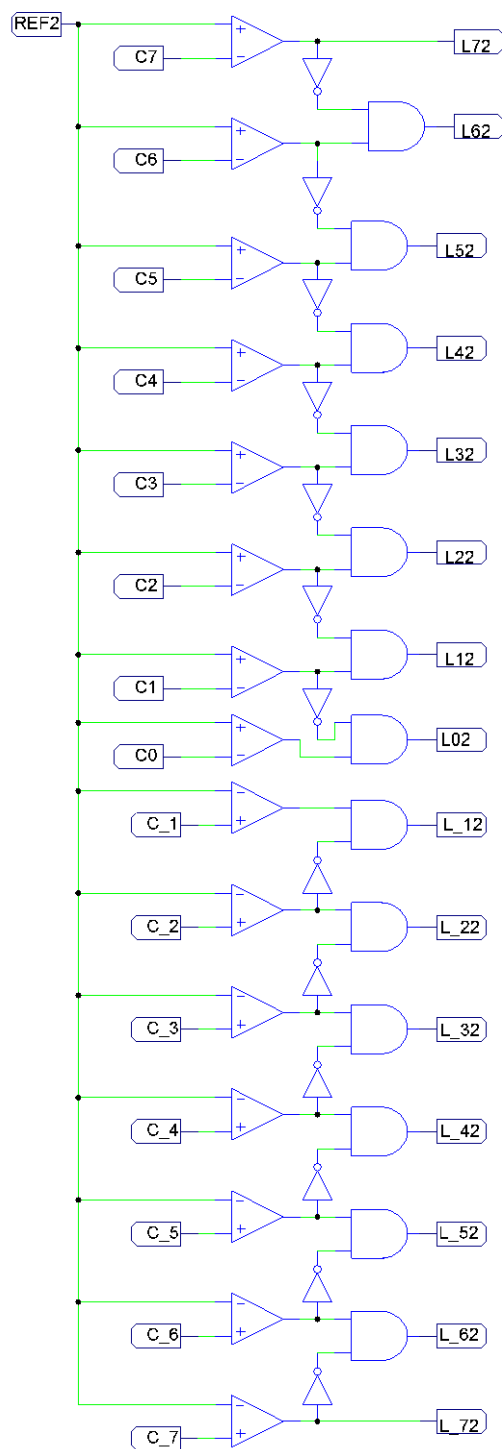
d. Rangkaian Modulasi SPWM MLI Tiga Fasa 15 Level

Rangkaian modulasi SPWM MLI tiga fasa 15 level dengan sumber input terpisah ini disusun dengan menggunakan komponen elektronika seperti op-amp yang berfungsi sebagai komparator antara tegangan Ref dan tegangan *carrier*, di mana jumlah yang digunakan sebanyak 15 gerbang sementara tegangan *carrier* yang digunakan sebanyak tujuh buah untuk setiap fasanya seperti di tunjukkan pada Gambar 15 sampai dengan Gambar 17.

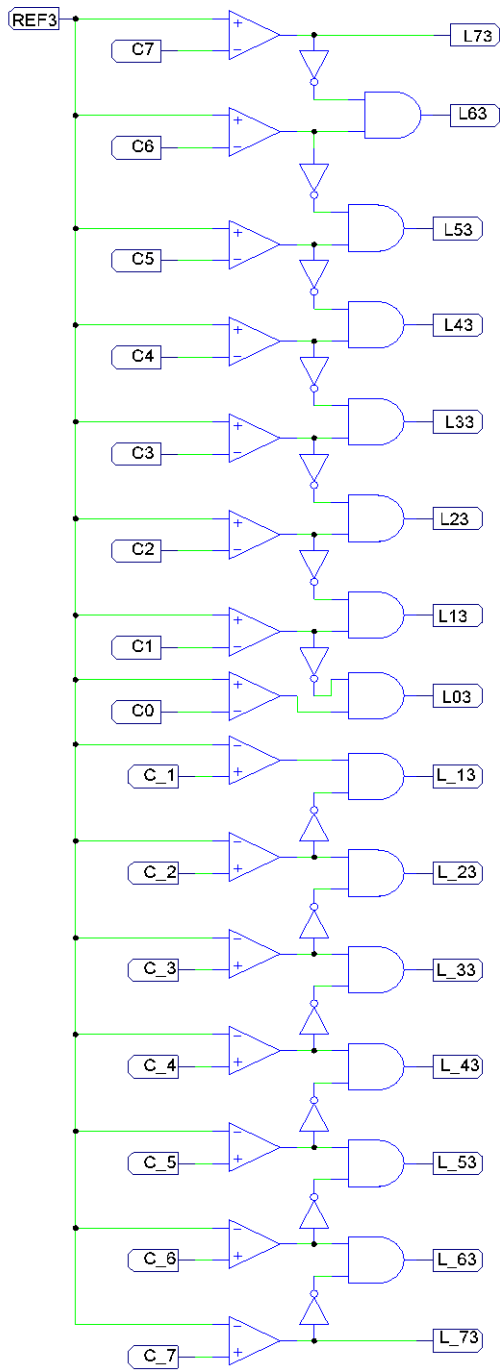
Gerbang logika NOT dan AND seperti pada Gambar tersebut diatas didisain untuk mengatur agar sistem bekerja secara berurutan dan hanya melakukan pensaklaran satu kali untuk setiap tahapan dan disesuaikan dengan perubahan amplitudo gelombang referensi dengan demikian gelombang output yang dihasilkan akan membentuk gelombang anak tangga. Output dari rangkaian modulasi SPWM ini selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian pensaklaran MOSFET.



Gambar 15 Rangkaian modulasi SPWM 15 level Fasa A

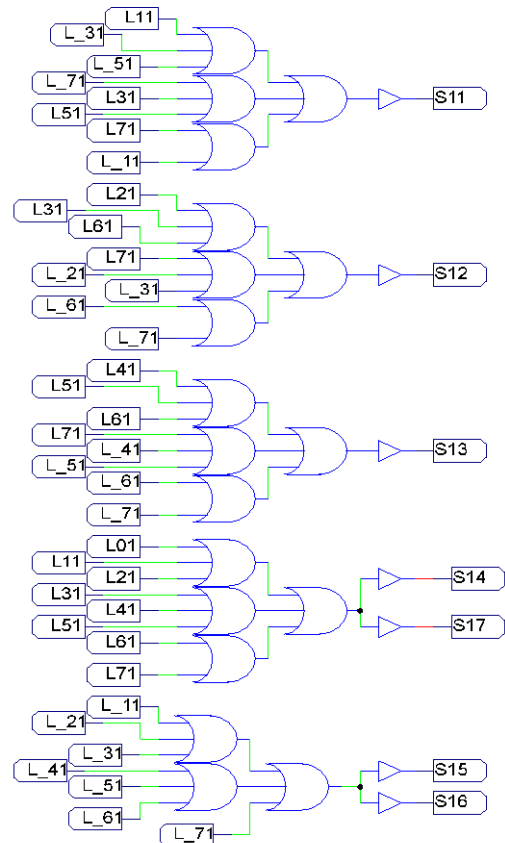


Gambar 16 Rangkaian modulasi SPWM 15 level Fasa B

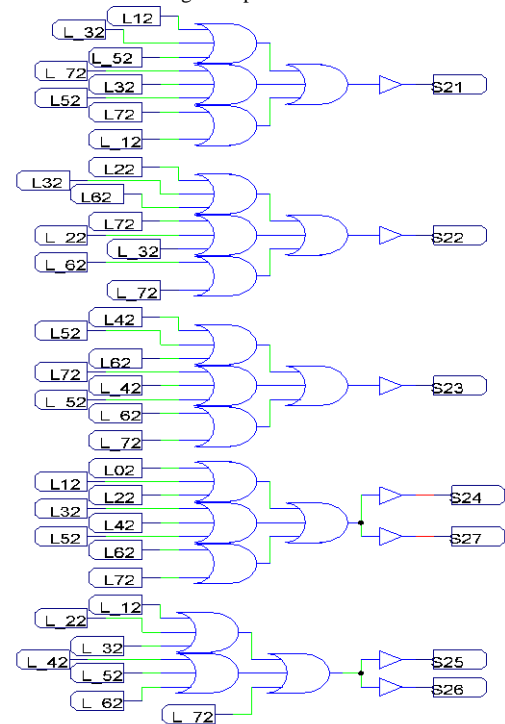


Gambar 17 Rangkaian modulasi SPWM 15 level Fasa C

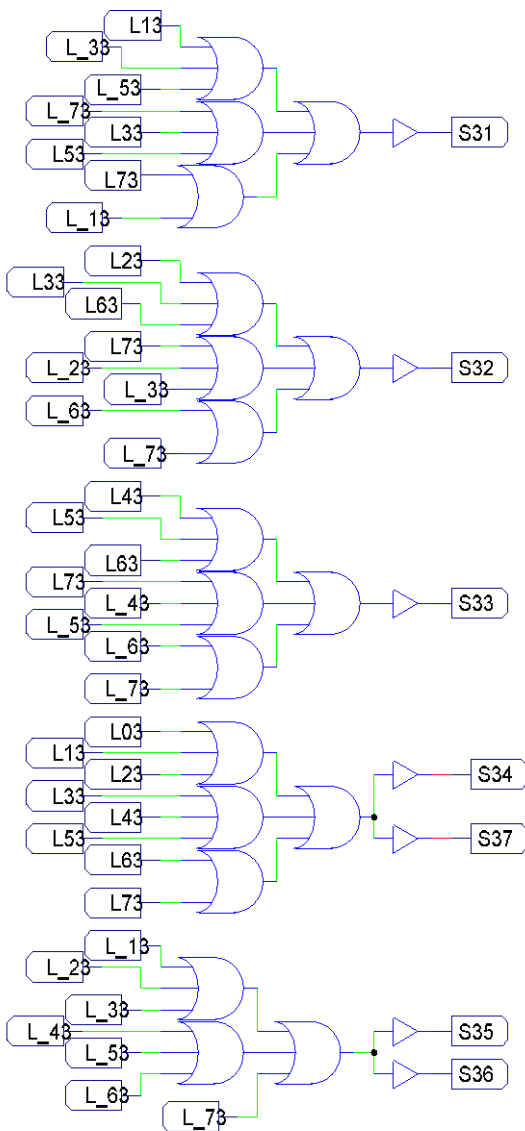
Rangkaian pensaklaran MOSFET seperti ditunjukkan pada Gambar 18 sampai dengan Gambar 20, rangkaian ini disusun dari gerbang OR di mana S11 digunakan untuk mengaktifkan baterai 12 Volt, S12 untuk mengaktifkan baterai 24 Volt dan S13 untuk baterai 48 Volt.



Gambar 18 Rangkaian pensaklaran MOSFET Fasa A



Gambar 19 Rangkaian pensaklaran MOSFET Fasa B



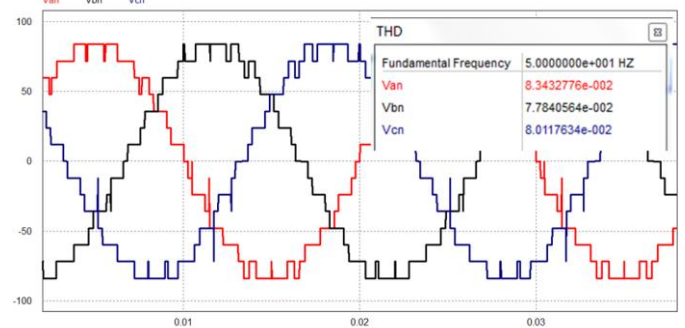
Gambar 20 Rangkaian pensaklaran MOSFET Fasa C

Selanjutnya S14 dan S17 difungsikan untuk mengaktifkan pada siklus positif antara sudut 0° hingga 180° , adapun rangkaian pensaklaran S15 dan S16 digunakan untuk membalikkan arah arus pada beban antara 180° hingga 360° sehingga menghasilkan bentuk gelombang output dalam bentuk arus bolak-balik pada fasa A, dengan metode yang sama proses ini juga akan berlaku untuk fasa B dan C.

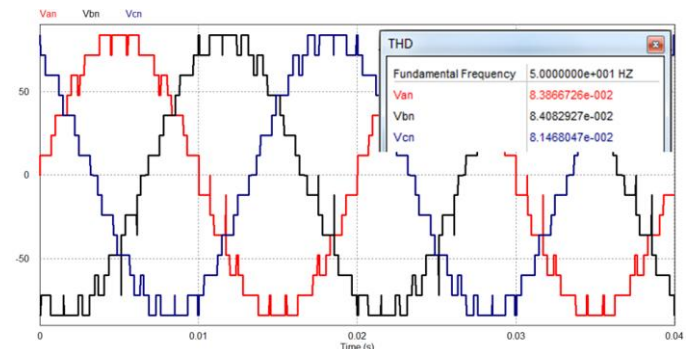
III. Hasil Dan Pembahasan

MLI tiga fasa dengan modulasi PWM yang didisain ini mampu menghasilkan *level* tegangan sebanyak 15 tingkat di mana rangkaian daya yang digunakan menggunakan saklar sebanyak 7 buah untuk setiap fasanya, metode ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan baterai dengan nilai 12V, 24V, 48V serta melakukan kombinasi dari susunan baterai tersebut sesuai dengan perubahan gelombang referensi berupa gelombang arus sinusoidal dari sumber tiga fasa

Bentuk gelombang output MLI berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan program PSIM dimana metode carrier yang digunakan berupa PD PWM, POD PWM, CO PWM, dan Modifikasi PWM dapat dilihat pada gambar 21 sampai dengan gambar 24, sementara hasil pengukuran untuk nilai total harmonic distortionnya (THD) ditunjukkan pada Tabel1. Bentuk gelombang output MLI dengan metode modifikasi PWM memiliki nilai THD yang lebih baik dibandingkan dengan tiga metode lainnya.

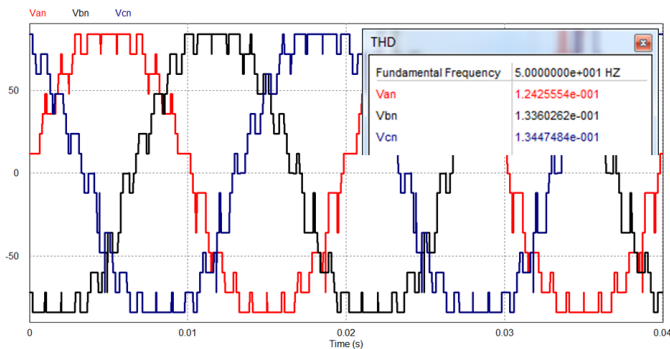


Gambar 21 Gelombang output MLI Tiga Fasa 15 Level PD PWM

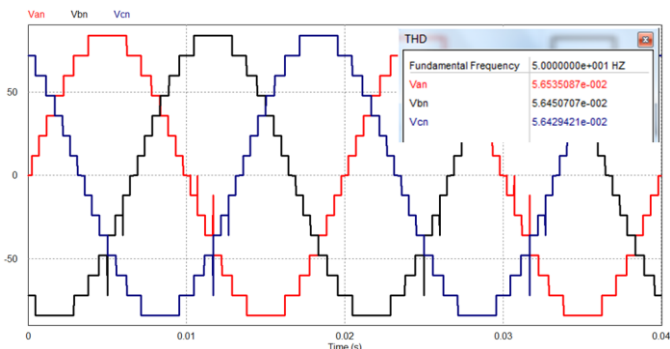


Gambar 22 Gelombang output MLI Tiga Fasa 15 Level POD PWM

DAFTAR PUSTAKA



Gambar 23 Gelombang output MLI Tiga Fasa 15 Level CO PWM



Gambar 24 Gelombang output MLI Tiga Fasa 15 SPWM Modifikasi

Tabel 2. Perbandingan Nilai THD

Modulasi	THD (%)		
	Van	Vbn	Vcn
PD PWM	8.34	7.78	8.01
POD PWM	8.38	8.40	8.14
CO PWM	12.42	13.36	13.44
Modifikasi PWM	5.65	5.64	5.64

IV. Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan

Disain MLI tiga fasa dengan sumber input simetris terpisah pada penelitian ini mampu menghasilkan gelombang output tiga fasa, dimana nilai THD yang dihasilkan sebesar 5,65 % apabila menggunakan metode Modifikasi PWM dimana sinyal carrier tidak memiliki frekuensi (bersumber dari tegangan DC) sementara jika menggunakan tiga metode yang lain nilai THD nya diatas 5,65 %.

Saran

Pada penelitian ini beban yang digunakan masih bersifat resistif, untuk menghasilkan nilai THD yang sama pada beban yang bersifat induktif maupun beban yang bersifat kapasitif maka diperlukan pengembangan lebih lanjut pada rangkaian modulasi SPWM yang digunakan.

- [1] M. H Rashid, "Power Electronics circuits, devices, and applications", 3th Ed, New Jersey, Person Prentice Hall, 2004.
- [2] M. D. Singh, K. B. Khanchandani, "Power Electronics", 2nd Ed, New Delhi, Tata McGraw Hill, 2007.
- [3] Hart, Daniel W, "Power Electronics", New York, Mc Graw-Hill, 2010.
- [4] K. Jain, P. Chaturvedi, "Matlab-based Simulation & Analysis of Three-Level SPWM Inverter", International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), Volume-2, Issue-1, pp. 56-59, March 2012.
- [5] 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", IEEE Conference Publications, pp. 1-6, 2014.
- [6] M. Murugesan, R. Sakthivel, E. Muthukumaran, dan R. Sivakumar, "Sinusoidal PWM Based Modified Cascaded Multilevel Inverter", International Journal of Computational Engineering Research, vol. 2, no. 2, pp. 529-539, Mar-Apr. 2012.
- [7] S. Banerjee, B. Pal, "Design of A Three Phase Reduced Switch Multilevel Inverter Based on Different SPWM Techniques", International Journal of Engineering Research & Technology, Volume 4, Issue 04, pp. 1418-1424, ISSN:2278-0181, April 2015.
- [8] Jing Zhao, Xiangning he and Rongsiang Zhao, "A Novel PWM Control method for Hybrid-Clamped multilevel Inverter" IEEE Transaction on industrial electronics, vol 57, no 7, July 2010.
- [9] P.P.S Saputra, "Pendeteksian Misalignment Menggunakan Multi Level Transformasi Wavelet Haar dan Coiflet pada Motor Induksi", jeetech, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, May 2020.
- [10] I. B. Hermawan and Annisa Harumwidiah, "A Perbandingan Daya Listrik Panel Surya Menggunakan MPPT P&O terhadap MPPT Logika Fuzzy", jeetech, vol. 2, no. 1, pp. 15-23, May 2021.
- [11] Brendan Peter Mcgrath and Donald Grahame Holmes, "Multicarrier PWM strategies for multilevel inverter", IEEE Transaction on industrial electronics, vol 49, no 4, August 2002.