

## Rancangan Simulasi *Inverter* 7 - Tingkat Tipe *Flying Capacitor* untuk Aplikasi PLTS Mandiri Energi Bersih Dan Terbarukan

Christopher Tjokro<sup>1</sup>, Titis Bagus K.<sup>2</sup>, Charis Christian<sup>3</sup> dan Leonardus Heru Pratomo<sup>4</sup>

Program Studi Teknik Elektro– Fakultas Teknik  
Universitas Katolik Soegijapranata  
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang, Indonesia  
christophertjokro@yahoo.com

### Abstract

Limitations of the voltage rating was the main issue in high voltage power conversion. By applying multicell inverters, it is possible to synthesize a high voltage waveform from multiple voltages. In this case is designed a simulated flying capacitor, seven level inverter which will be furthered used in a photovoltaic energy generation system as an alternative in energy source. In a photovoltaic generation system, the main components are the PV, MPPT, and the inverter. As conventionally designed, the inverter of the system uses the conventional method of Half-bridge type inverter which has a relatively high harmonic distortion in its waveform. What will be further discussed is the flying capacitor, seven level inverter. The seven level inverter has higher stability and lower harmonic distortion in its output waveform, As in real application the harmonic distortion of an output waveform should be below 5% for an allowed and recommended general application use. By this project, the total output harmonic distortion of this seven level inverter is 3,83%. The data that would be the reference for this paper is the data from the simulated design of the flying capacitor, seven level inverter using the Power Simulator software. As it will be mentioned later on in the paper, there will be a brief explanation of the MPPT that would be used to boost the DC photovoltaic source to a desired value and a more detailed explanation in the inverter design to supply an AC source that could be later used in general purposes.

Keywords: Multilevel Inverter, Photovoltaic, Power Supply

### 1. Pendahuluan

Pada sistem penyediaan listrik yang menggunakan *photovoltaic* sebagai sumbernya, kualitas daya dan bentuk gelombang dari keluaran PLTS akan sangat diperhatikan karena akan berdampak langsung pada keawetan peralatan industri, teknologi dan elektronik rumah. Dari tipe - tipe *inverter* yang diimplementasikan pada PLTS, umumnya digunakan tipe *inverter multilevel* karena akan mengurangi nilai distorsi harmonik (Narmantha, 2013) dan stabilitas pada konversi daya tegangan tinggi.

*Harmonic distortion* merupakan perubahan pada gelombang dari bentuk ideal sinusoidalnya yang disebabkan oleh interaksi beban non linear (IEEE, 1993).

*Inverter* yang lebih konvensional dengan tipe *Half Bridge* yang terdiri dari empat buah transistor yang berfungsi sebagai saklar. Akan tetapi tipe *inverter* seperti ini memiliki kelemahan yaitu stress tegangan yang besar. Dengan terbentuknya *inverter multilevel* maka kelemahan ini dapat teratasi (Oliva, Aymonino and Mandolesi, 2005). Pada dasarnya *inverter multilevel* ada tiga buah jenis yaitu : *seperated DC source*, *diode clamp* dan *flying capacitor* (Riyadi, 2004).

Keuntungan lainnya dari tipe *inverter flying capacitor* adalah :

1. Menghasilkan keluaran tegangan lebih besar dengan implementasi saklar dengan *rating* daya rendah, disebabkan komponen saklar daya rendah umumnya memiliki kemampuan *switching* lebih besar (Riyadi, 2010).
2. Mengurangi riak keluaran karena tegangan keluaran akan berfluktuasi pada level tegangan rendah (Riyadi, 2004).

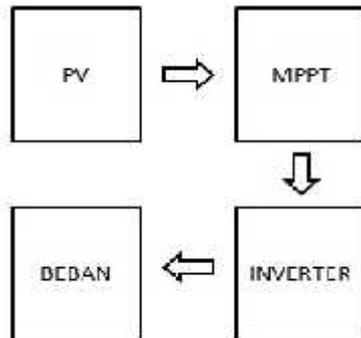
Dengan dikembangkannya *inverter* jenis *multilevel* maka akan didapatkan hasil gelombang keluaran yang lebih baik dari *inverter* konvensional yang telah tersedia. Penggunaan *Inverter* ini banyak digunakan baik untuk *power supply*, aplikasi rumah dsb. Pada makalah ini dibahas tentang rancangan dari simulasi *inverter 7* tingkat dengan topologi *flying capacitor* (Riyadi, 2004). Serta dengan perancangan dari *inverter 7 level* ini diharapkan dapat memberikan kontribusi tambahan pada ilmu pengetahuan.

### 2. Metode Penelitian

Pengambilan data dari hasil rancangan simulasi *inverter 7 level* tipe *flying*

capacitor akan didapatkan melalui hasil kuantitatif dari simulasi rangkaian daya inverter menggunakan software PSIM.

Pada dasarnya, sistem cara kerja dari inverter ini dapat dilihat pada diagram blok di Gambar 1.



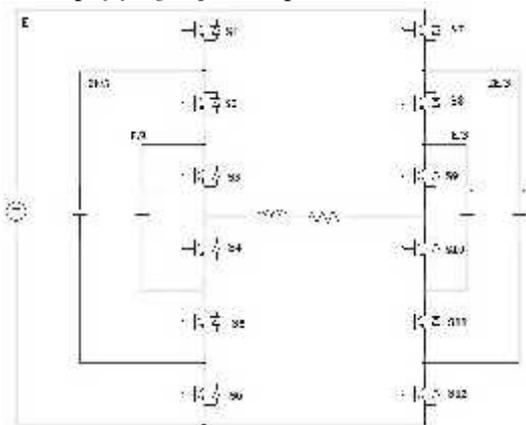
Gambar 1. Diagram Blok

Seperti yang terlihat pada Gambar 1., photovoltaic yang dibesarkan tegangan DCnya oleh MPPT yang berupa boost converter akan menyediakan sumber tegangan DC pada inverter 7 level (Riyadi, 2010). Pada saat ada di inverter, tegangan DC akan diubah menjadi AC sehingga dapat digunakan untuk keperluan.

### 2.1 Inverter Tujuh Tingkat

Pada aplikasi perancangan inverter multilevel terdapat tiga buah jenis yaitu : *seperated DC source, diode clamp dan flying capacitor* (Riyadi, 2004).

Makalah ini akan lebih rincimembahas dan menganalisa tentang rancangan simulasi inverter 7 level tipe *flying capacitor*. Berikut merupakan skema rangkaian daya dari inverter 7 level tipe *flying capacitor* pada Gambar 3.



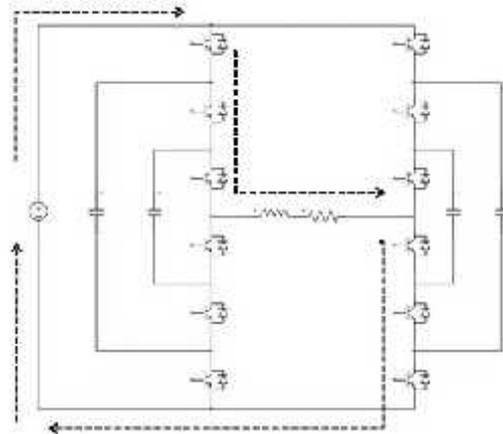
Gambar 3. Rangkaian Daya Inverter 7 Level

Saklar pada inverter ini akan dikelompokkan menjadi 4 bagian utama yaitu

1. A = S1, S2, S3
2. B = S4, S5, S6
3. C = S7, S8, S9

### 4. D = S10, S11, S12

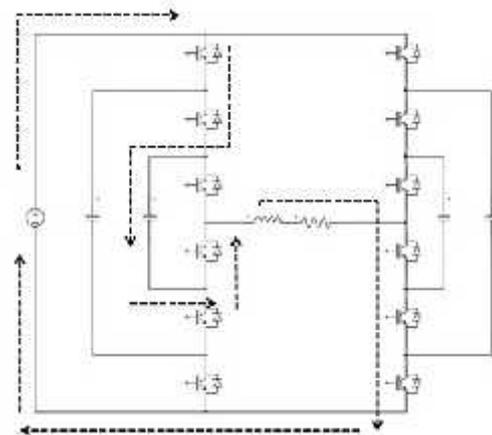
Inverter 7 level memiliki siklus kerja khusus sehingga dapat menghasilkan gelombang keluaran. Pada analisa rangkaian daya dari inverter 7 level ini, akan dihasilkan data gelombang keluaran kuantitatif dari rangkaian menggunakan software PSIM. Dengan mengetahui siklus dan arah arus secara bertahap pada inverter 7 level tipe *flying capacitor* ini maka akan lebih mudah memahami asal usul pembentukan sinyal gelombang keluaran. Langkah dari siklus kerja dan arah arus dari inverter ini akan dijabarkan dan dapat dilihat pada Gambar 4 - 17.



Gambar 4. Siklus Kerja 1

Pada siklus kerja pertama, arus I dari sumber melewati bagian A dan D secara penuh ( 3 saklar A on, 3 saklar D on ).Makahasil dari siklus kerja pertama adalah:

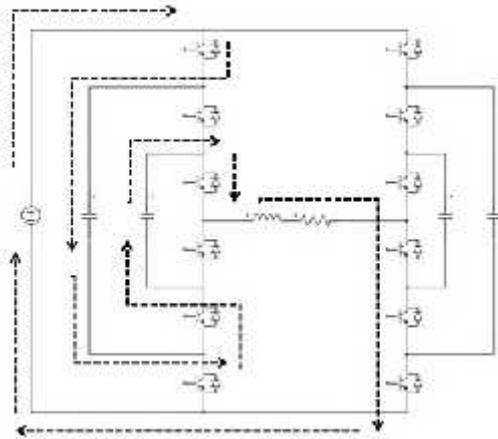
$$V_o = E$$



Gambar 5. Siklus Kerja 2

Pada siklus kerja kedua, arus I dari sumber melewati bagian A dan D ( 2 saklar A on, 3 saklar D on ).Makahasil dari siklus kerja kedua adalah:

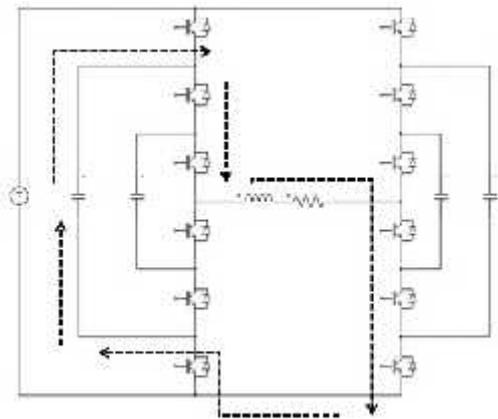
$$V_o = E - E/3$$



Gambar6. Siklus Kerja 3

Pada siklus kerja ketiga, arus I dari sumber melewati bagian A dan D ( 1 saklar A on, 3 saklar D on ).  
 Makahasildarisikluskerjaketigaadalah:

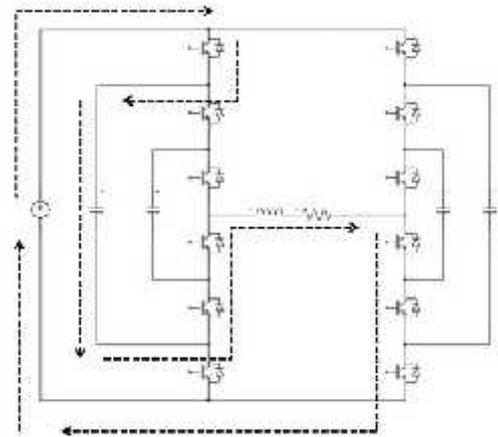
$$V_o = E - 2E/3 + E/3$$



Gambar7. Siklus Kerja 4

Pada siklus kerja keempat, arus I melewati bagian A dan D ( 1 saklar A on, 3 saklar D on ).  
 Makahasildarisikluskerjakeempatadalah:

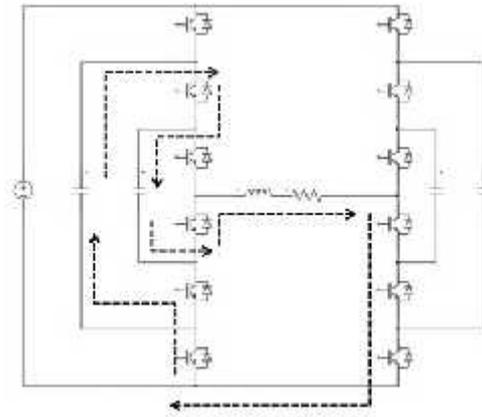
$$V_o = 2E/3$$



Gambar8. Siklus Kerja 5

Pada siklus kerja kelima, arus I dari sumber melewati bagian A dan D ( 1 saklar A on, 3 saklar D on ).  
 Makahasildarisikluskerjakelimaadalah:

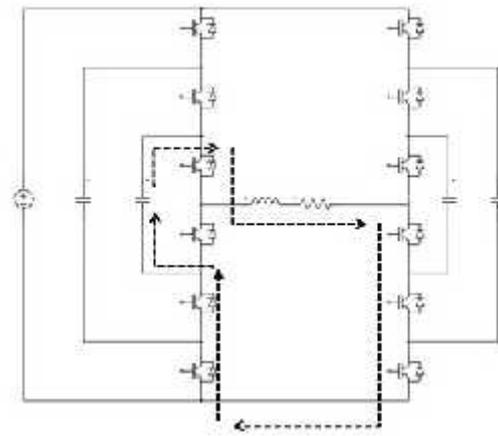
$$V_o = E - 2E/3$$



Gambar9. Siklus Kerja 6

Pada siklus kerja keenam, arus I melewati bagian A dan D ( 1 saklar A on, 3 saklar D on ).  
 Makahasildarisikluskerjakeenamadalah:

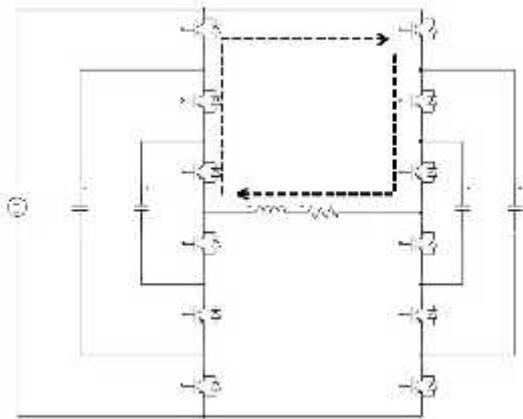
$$V_o = 2E/3 - E/3$$



Gambar10. Siklus Kerja 7

Pada siklus kerja ketujuh, arus I melewati bagian A dan D ( 1 saklar A on, 3 saklar D on ).  
 Makahasildarisikluskerjaketujuhadalah:

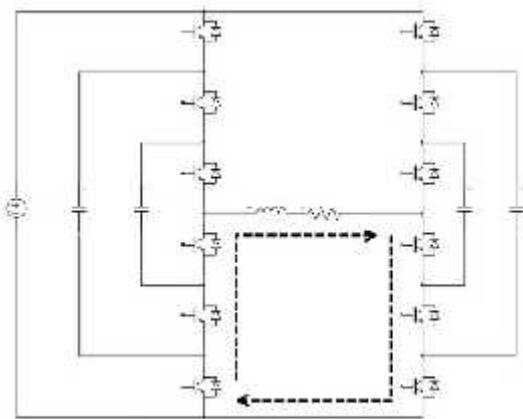
$$V_o = E/3$$



Gambar11. Siklus Kerja 8

Pada siklus kerja kedelapan, arus I melewati bagian A dan C secara *free-wheeling* (3 saklar A *on*, 3 saklar C *Con*).Makahasildarisikluskerjakedelapanadalah:

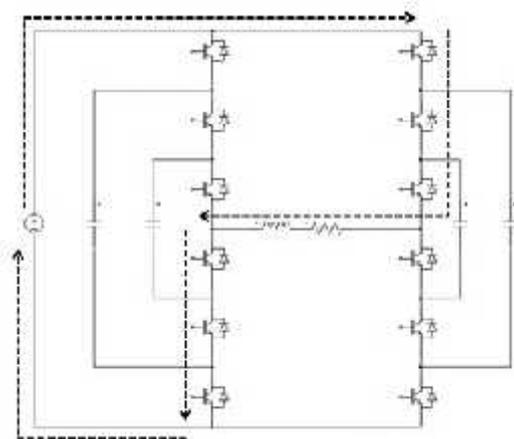
$$V_o = 0$$



Gambar12. Siklus Kerja 9

Pada siklus kerja kesembilan, arus I melewati bagian B dan D (3 saklar B *on*, 3 saklar D *on*).Makahasildarisikluskerjakesembilanadalah:

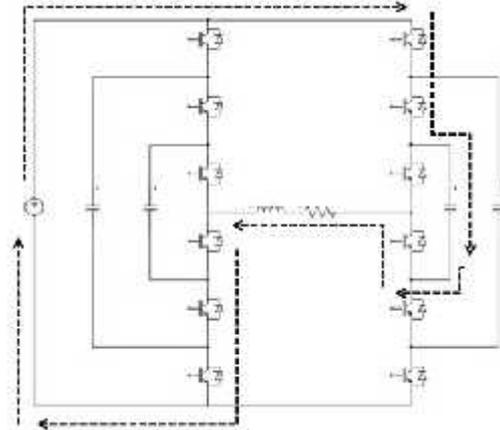
$$V_o = 0$$



Gambar13. Siklus Kerja 10

Pada siklus kerja kesepuluh, arus I dari sumber melewati bagian C dan B secara penuh (3 saklar C *on*, 3 saklar B *on*).Makahasildarisikluskerjakesepuluhadalah:

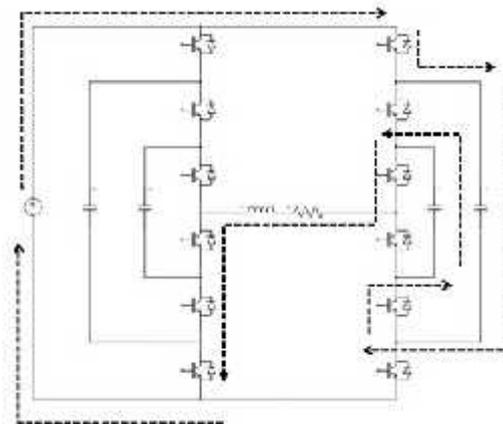
$$V_o = -(E)$$



Gambar14. Siklus Kerja 11

Pada siklus kerja kesebelas, arus I dari sumber melewati bagian C dan B (2 saklar C *on*, 3 saklar B *on*).Makahasildarisikluskerjakesebelasadalah:

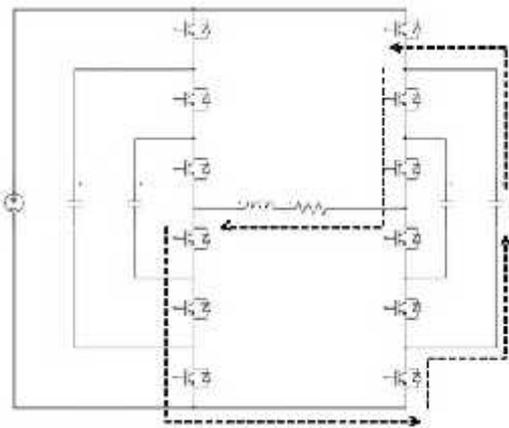
$$V_o = -(E - E/3)$$



Gambar15. Siklus Kerja 12

Pada siklus kerja keduabelas, arus I dari sumber melewati bagian C dan B (1 saklar C *on*, 3 saklar B *on*).Makahasildarisikluskerjakeduabelasadalah:

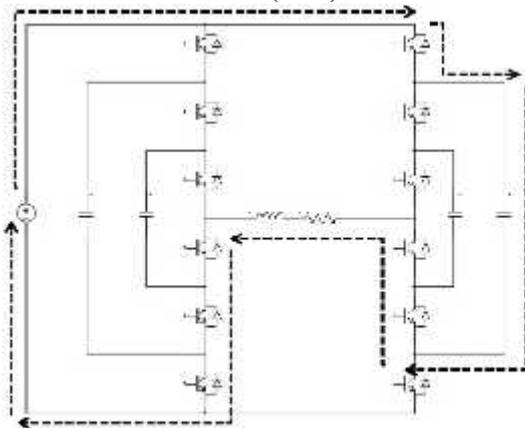
$$V_o = -(E - 2E/3 + E/3)$$



Gambar16. Siklus Kerja 13

Pada siklus kerja ketigabelas, arus I melewati bagian C dan B ( 1 saklar C on, 3 saklar B on ).Makahasildarisikluskerjaketigabelasadalah:

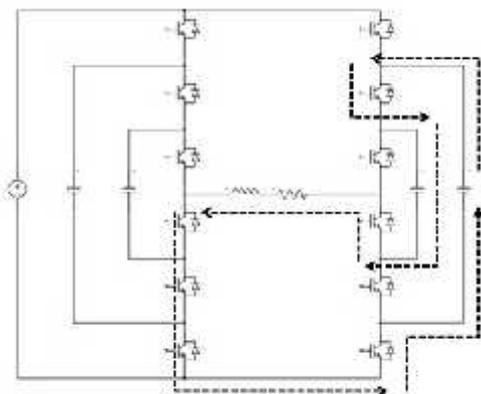
$$V_o = -(2E/3)$$



Gambar17. Siklus Kerja 14

Pada siklus kerja keempatbelas, arus I dari sumber melewati bagian C dan B ( 2 saklar C on, 3 saklar B on ).Makahasildarisikluskerjakeempatbelasadalah:

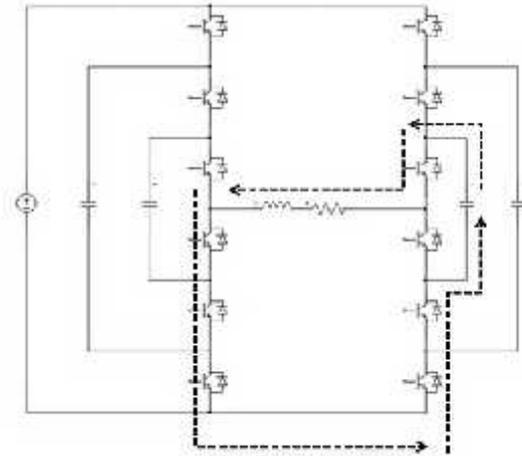
$$V_o = -(E - 2E/3)$$



Gambar18. Siklus Kerja 15

Pada siklus kerja kelimabelas, arus I melewati bagian C dan B ( 1 saklar C on, 3 saklar B on ).Makahasildarisikluskerjakelimabelasadalah:

$$V_o = -(2E/3 - E/3)$$



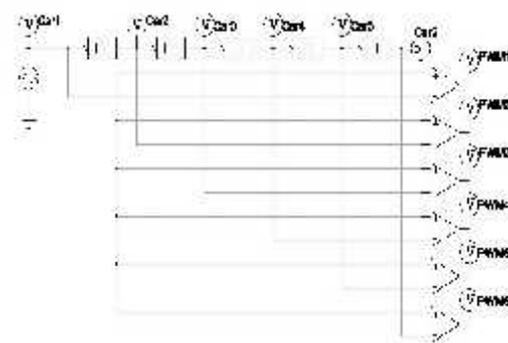
Gambar19. Siklus Kerja 16

Pada siklus kerja keenambelas, arus I melewati bagian C dan B ( 1 saklar C on, 3 saklar B on ).Makahasildarisikluskerjakeenambelasadalah:

$$V_o = -(E/3)$$

## 2.2 Pengendalian Saklar

Transistor yang berfungsi sebagai saklar pada rangkaian daya *inverter 7 level* akan dikendalikan oleh suatu rangkaian berbeda, berfungsi memberi *time delay* untuk setiap bagian saklar sehingga saklar pada inverter dapat berfungsi sebagai *inverter multilevel* (Raharjo, et al., 2017). Secara sederhana, cara kerja dari rangkaian kendali dari *inverter 7 level* dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar20. Pengendalian Saklar dengan PWM dengan menggeser fase sebesar 60°

Saklar transistor yang berfungsi sebagai saklar dikendalikan menggunakan masukan sinyal *pulse width modulation* yang telah diatur

time delay agar saklar dapat membuka dan menutup secara *fully controlled* (Riyadi, 2010).

Pada siklus kerja dari rangkaian inverter 7 tingkat *flying capacitor* seperti pada Gambar 3 memiliki fungsi pensaklaran pada siklus positif dan negatif seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Fungsi Pensaklaran

V <sub>o</sub>	V <sub>s</sub>	2V <sub>s</sub> / 3	2V <sub>s</sub> / 3	2V <sub>s</sub> / 3	V <sub>s</sub> / 3	V <sub>s</sub> / 3
S1	1	1	1	0	1	0
S2	1	1	0	1	0	1
S3	1	0	1	1	0	0
S4	0	1	0	0	1	1
S5	0	0	1	0	1	0
S6	0	0	0	1	0	1
S7	0	0	0	0	0	0
S8	0	0	0	0	0	0
S9	0	0	0	0	0	0
S10	1	1	1	1	1	1
S11	1	1	1	1	1	1
S12	1	1	1	1	1	1
V <sub>o</sub>	V <sub>s</sub> / 3	0	0	-V <sub>s</sub> / 3	-V <sub>s</sub> / 3	-V <sub>s</sub> / 3
S1	0	0	1	0	0	0
S2	0	0	1	0	0	0
S3	1	0	1	0	0	0
S4	0	1	0	1	1	1
S5	1	1	0	1	1	1
S6	1	1	0	1	1	1
S7	0	0	1	1	0	0
S8	0	0	1	0	1	0
S9	0	0	1	0	0	1
S10	1	1	0	1	1	0
S11	1	1	0	1	0	1
S12	1	1	0	0	1	1
V <sub>o</sub>	-2V <sub>s</sub> / 3	-2V <sub>s</sub> / 3	-2V <sub>s</sub> / 3	-V <sub>s</sub>		
S1	0	0	0	0		
S2	0	0	0	0		
S3	0	0	0	0		
S4	1	1	1	1		
S5	1	1	1	1		
S6	1	1	1	1		
S7	1	1	0	1		
S8	1	0	1	1		
S9	0	1	1	1		
S10	1	0	0	0		
S11	0	1	0	0		
S12	0	0	1	0		

Keterangan :

1 = Saklar Konduksi

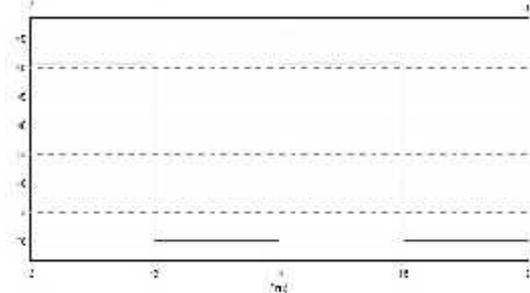
0 = Saklar Tidak Konduksi

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada hasil dan pembahasan akan ada 3 bagian utama yang diamati yaitu MPPT, kendali sinyal dan output dari inverter 7 level *flying capacitor*.

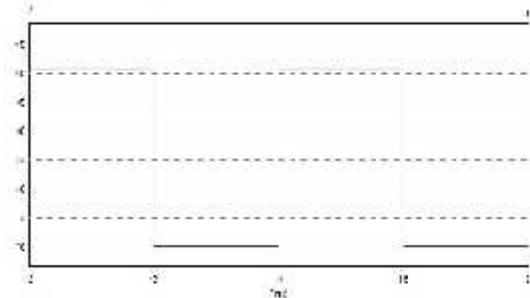
#### 3.1 Hasil Keluaran Sinyal MPPT

Berikut merupakan hasil keluaran gelombang simulasi dari PSIM rangkaian MPPT yang menunjukkan daya.



Gambar 21. Hasil Keluaran Daya dari PV

Gambar 21. menunjukkan hasil keluaran daya dari *photovoltaic* yang disambungkan ke MPPT. Keluaran daya dari *photovoltaic* adalah 1000W.

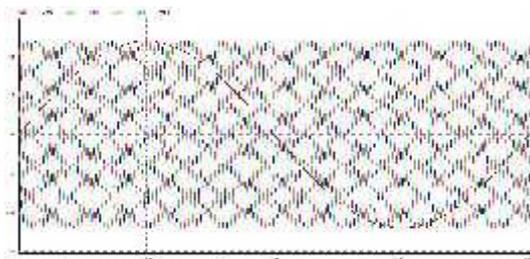


Gambar 22. Hasil Keluaran Daya dari MPPT

Gambar 22. menunjukkan keluaran daya MPPT yang telah disambungkan dengan PV, nilai keluaran MPPT sama dengan PV yaitu 1000W dengan frekuensi dan fasa yang sama.

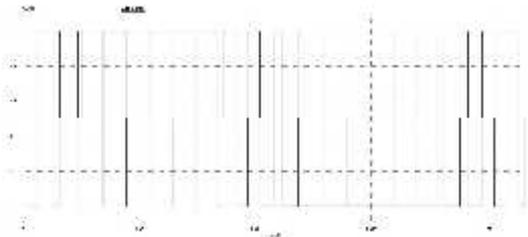
#### 3.2 Hasil Keluaran Sinyal Kendali

Berikut merupakan hasil keluaran gelombang simulasi PSIM dari rangkaian kendali sinyal saklar transistor inverter.



Gambar 23. Hasil Keluaran Sinyal Kendali

Pada Gambar 23. Merupakan hasil keluaran sinyal pada rangkaian pengendali sinyal untuk saklar dengan sinyal berupa sinus merupakan sinyal modulasi dan sinyal - sinyal AC segitiga berupa sinyal carrier dengan total 6 sinyal carrier dengan pergeseran sudut fasa yang terbagi rata yaitu  $60^\circ$ . Pada Gambar 21. hanya ditampilkan 2 sinyal carrier dengan amplituda 12V.

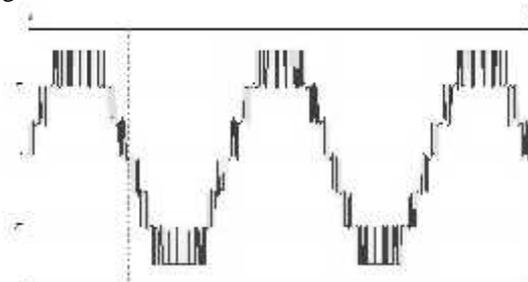


Gambar24. Hasil Keluaran Sinyal PWM untuk S1

Sinyal yang keluar dari rankaian kontrol berupa sinyal *pulse width modulation*. Pada Gambar 24. Ditampilkan contoh sinyal PWM untuk saklar S1.

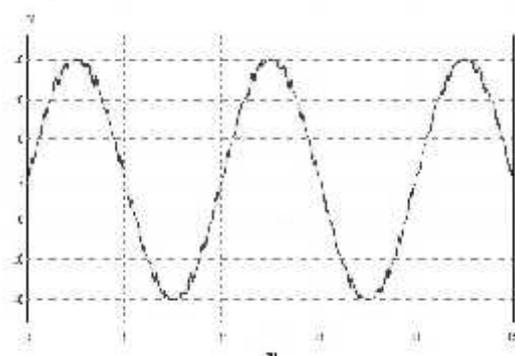
### 3.3 Hasil Keluaran Sinyal Inverter 7 level

Pada *inverter* akan mengeluarkan sinyal gelombang keluaran yang terukur seperti pada gambar dibawah.



Gambar25. Hasil Keluaran Tegangan R beban

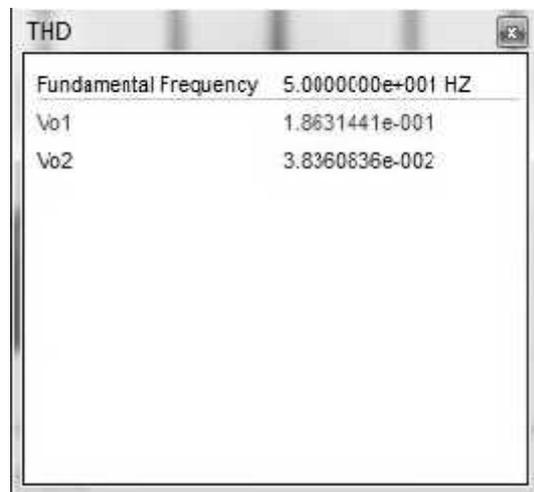
Pada Gambar 25. dapat dilihat bentuk keluaran gelombang tegangan yang diukur dari R beban dari *inverter 7 level* tipe *flying capacitor*. Dengan nilai  $V_{max} = 300$  V



Gambar26. Hasil Keluaran Tegangan R dan L beban

Pada Gambar 26. Dapat dilihat bentuk keluaran gelombang tegangan yang diukur dari R dan L beban dari *inverter 7 level* tipe *flying capacitor*. Dengan nilai  $V_{max} = 206$  V

Nilai THD (*Total Harmonic Distortion*) dari keluaran gelombang yang telah dilewatkan R dan L dapat dihitung dari komputasi simulasi PSIM.



Gambar27. Hasil Penghitungan Nilai THD

Dari Gambar. 27 dapat diamati nilai Total Harmonic Distortion dari Vo2 (Keluaran tegangan yang telah dilewati R dan L). Maka nilai THD dari Vo2 adalah 3.83 % yang merupakan angka yang direkomendasikan untuk pemakaian yaitu dibawah 5% (IEEE, 1993).

### 4. Kesimpulan

Dari hasil rancangan simulasi inverter 7 tingkat tipe *flying capacitor*, didapatkan hasil *harmonic distortion* sebesar 3.83% yang merupakan hasil yang dapat ditolerir dalam pemakaian. Hasil pengujian ini masih bersifat *open loop* dan dapat dimodifikasi lebih lanjut untuk efisiensi komponendan alat pada kondisi riil.

### Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih pada berbagai pihak, tenaga pengajar yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan *paper* ilmiah ini sehingga dapat diselesaikan dalam jangka waktu yang telah ditentukan.

### Daftar Pustaka

- Alberto, C. *et al.* (2012) 'Minimization of THD and Angle Calculation for Multilevel Inverters', (5).
- Eaton Powerware (no date) *Harmonics in your electrical system.*
- IEEE (1993) *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in*

- Electrical Power Systems, IEEE Std 519-1992*. doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.
- Khadse, S., Mendole, R. and Pandey, A. (2017) 'A 5-Level Single Phase Flying Capacitor Multilevel Inverter', *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(2), pp. 348–352. Available at: <https://irjet.net/archives/V4/i2/IRJET-V4I269.pdf>.
- Narmatha, R. (2013) 'Inverter Dead-Time Elimination for Reducing Harmonic Distortion and Improving Power Quality', 3(February), pp. 216–221.
- Oliva, A. et al. (2005) 'Reduction of total harmonic distortion in power inverters', *Latin American Applied Research*, 35(2), pp. 89–93.
- Raharjo, Y. I. et al. (2017) 'Implementasi MLPDS  $\frac{1}{2}$  pada AT mega 8535 untuk Aplikasi Inverter 5-Tingkat', pp. 52–56.
- Riyadi, S. (2010) *Diktat Elektronika Daya Lanjut*. Semarang.
- Riyadi, S. (2004) *Multicell Converter in application as an active power filter*. Semarang.
- Sato, K., Haga, H. and Nagaoka, S. K. (2016) 'Single-phase 7-level inverter for reducing number of switches', *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference (Proceedings)*, 2016–Septe. doi: 10.1109/INTLEC.2015.7572312.
- Verma, S. B., Raisonni, G. H. and Rewatkar, R. (2015) 'Comparison of Grid Connected 5-Level and 7-Level Inverters', *International Journal of Electrical*, pp. 2320–2084.



## BERITA ACARA KEGIATAN SEMINAR NASIONAL ReTII KE-12 TAHUN 2017

Pada hari ini Sabtu, Tanggal 9 Desember, Tahun 2017 telah dilaksanakan Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII) ke-12, atas :

- Nama Pemakalah : Christopher Tjokro<sup>1</sup>, Titis Bagus K.<sup>2</sup>, Charis Christian<sup>3</sup> dan Leonardus Heru Pratomo<sup>4</sup>
- Judul Makalah : RANCANGAN SIMULASI INVERTER 7 - TINGKAT TIPE FLYING CAPACITOR UNTUK APLIKASI PLTS MANDIRI ENERGI BERSIH DAN TERBARUKAN
- Pukul : 13.15 – 13.30
- Bertempat di : Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
- Dengan alamat : Jln. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, DIY
- Ruang : D.21
- Moderator : Tugino, S.T., M.T
- Notulen : Septiana Fathurrohmah, S.Si., M.Sc

Susunan Acara Seminar ini dibuka oleh Moderator, diikuti oleh Pemaparan Singkat Hasil Penelitian oleh Pemakalah, Tanggapan (Pertanyaan/Kritik/Saran) dari Peserta Seminar dan Tanggapan Pemakalah, dan ditutup kembali oleh Moderator.

Jumlah Peserta yang hadir : \_\_\_\_\_ orang (Daftar Hadir Terlampir)

Demikian Berita Acara ini dibuat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 9 Desember 2017

Ketua Panitia	Moderator	Pemakalah
 Dr. Ir. Sugiarto, MT	 Tugino, S.T., M.T	 Christopher Tjokro <sup>1</sup> , Titis Bagus K. <sup>2</sup> , Charis Christian <sup>3</sup> dan Leonardus Heru Pratomo <sup>4</sup>



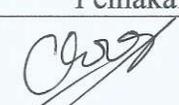
## NOTULEN KEGIATAN SEMINAR NASIONAL ReTII KE-12 TAHUN 2017

Pada hari ini Sabtu, Tanggal 9 Desember, Tahun 2017 telah dilaksanakan Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi (ReTII) ke-12, atas :

- Nama Pemakalah : Christopher Tjokro<sup>1</sup> , Titis Bagus K.<sup>2</sup> , Charis Christian<sup>3</sup> dan Leonardus Heru Pratomo<sup>4</sup>
- Judul Makalah : RANCANGAN SIMULASI INVERTER 7 - TINGKAT TIPE FLYING CAPACITOR UNTUK APLIKASI PLTS MANDIRI ENERGI BERSIH DAN TERBARUKAN
- Pukul : 13.15 – 13.30
- Bertempat di : STTNAS Yogyakarta
- Dengan alamat : Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, DIY
- Ruang : D.21

Pertanyaan/Kritik/Saran	Tanggapan Pemakalah
1. Outputnya apakah ada distorsi ?	1. Masih ada 5%. Hanya bisa diminisimalisir
2. Apakah sudah dicoba di simulator ?	2. Belum

Yogyakarta, 9 Desember 2017

Ketua Panitia	Moderator	Pemakalah
  Dr. H. Sugiarto, MT	 Tugino, S.T., M.T	 Christopher Tjokro <sup>1</sup> , Titis Bagus K. <sup>2</sup> , Charis Christian <sup>3</sup> , Leonardus Heru Pratomo <sup>4</sup>