

Desain dan Simulasi UPS Multilevel Inverter Dengan Metode Modulasi Phase Disposition-PWM

(Design and Simulation of UPS Multilevel Inverter with Phase Disposition-PWM Modulation Method)

GEDE PATRIANAYA MARGAYASA WIRSUYANA, MUHAMMAD NIZAR HABIBI, NOVIE AYUB
WINDARKO, SURYONO

ABSTRAK

Penelitian ini memaparkan hasil perancangan dan simulasi Uninterruptible Power Supply (UPS) yang berfungsi sebagai sumber energi cadangan ketika sumber energi utama beban padam. Rangkaian UPS ini terdiri dari baterai sebagai sumber energi, konverter DC-DC boost sebagai penaik tegangan dari baterai yang disertai dengan kontrol PI untuk menstabilkan tegangan keluaran konverter, dan multilevel inverter tipe dioda clamped dengan metode modulasi Phase Disposition PWM (PD-PWM) untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang dapat disuplai ke beban. Pada penelitian ini akan dibahas performa dari konverter DC-DC boost yang dilengkapi dengan kontrol PI dan diode clamped multilevel inverter dalam aplikasinya sebagai UPS yang digunakan untuk menyuplai beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konverter boost DC-DC mampu menaikkan dan menstabilkan tegangan DC sebesar 339,71 volt dan multilevel inverter mampu mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC sebesar 220,41 volt dan tegangan Total Harmonic Distortion (THD) 0,39222% yang dapat disuplai ke beban sebagai pengganti sumber energi utama. Sistem UPS ini memiliki waktu peralihan 23 milidetik.

Kata Kunci: Konverter DC-DC Boost, Multilevel Inverter, PD-PWM, Kontrol PI, UPS

ABSTRACT

This paper presents the results of the design and simulation of an Uninterruptible Power Supply (UPS) that functions as a backup energy source when the main energy source of the load goes out. This UPS circuit consists of a battery as an energy source, a DC-DC boost converter as a voltage booster from a battery that is accompanied by a Proportional-Integral (PI) control to stabilize the output voltage of the converter, and a diode clamped multilevel inverter with the Phase Disposition PWM (PD-PWM) modulation method to change the DC voltage into an AC voltage that can be supplied to the load. This research will discuss the performance of the DC-DC boost converter which is accompanied by PI control and diode clamped multilevel inverter in its application as a UPS that is used to supply loads. The results show that DC-DC boost converter is able to increase and stabilize DC voltages by 339.71 volts and multilevel inverters are able to convert DC voltages to AC voltages by 220.41 volts and Total Harmonic Distortion (THD) voltage of 0.39222% which can be supplied to the load as a substitute for the main energy source. This UPS system has a switching time of 23 milliseconds.

Keywords: DC-DC Boost Converter, Multilevel Inverter, PD-PWM, PI Controller, UPS

PENDAHULUAN

Pada era ini, listrik merupakan kebutuhan primer yang dibutuhkan oleh semua sektor demi menunjang kehidupan (Pratama et al., 2019). Namun, dengan meningkatnya penggunaan energi listrik maka akan meningkatkan resiko terjadinya permasalahan pada jalur suplai daya yang dapat mengakibatkan menurunnya kualitas suplai daya. Gangguan daya selalu dapat terjadi yang dapat disebabkan oleh kesalahan pada sistem distribusi, pengoperasian peralatan terdekat, sambaran petir atau sebab lainnya. Resiko ini sangat bertentangan dengan kondisi saat ini dimana banyak beban-beban listrik yang memerlukan kontinuitas yang sangat tinggi sehingga diperlukan suplai daya yang tidak boleh terganggu dengan kualitas daya yang baik. Beban-beban ini biasa dinamakan critical load dan terdapat pada berbagai sektor. Untuk mempertahankan kontinuitas daya beban listrik agar tetap beroperasi saat listrik dari sumber utama padam maka diperlukan backup supply seperti UPS (Uninterruptible Power Supply) yang dapat menjaga suplai daya ke beban listrik (Yustisia, 2011). Pada penelitian ini akan merancang dan mendesain sistem UPS yang dapat digunakan sebagai backup supply dan menghasilkan harmonisa yang rendah karena penggunaan inverter multilevel.

Penelitian mengenai perancangan UPS sudah pernah dilakukan sebelumnya. Ponniran et al. (2011) melakukan penelitian mengenai UPS satu fasa untuk tegangan rendah, namun, penelitian ini hanya sampai menghasilkan tegangan AC dari inverter dan belum digunakan filter sehingga harmonisa yang dihasilkan masih tinggi. Warjono dan Suryono (2015) merancang UPS untuk beban 1300 VA, namun UPS menghasilkan tegangan AC yang tidak konstan dikarenakan tidak terdapatnya kontrol sebagai penstabil tegangan.

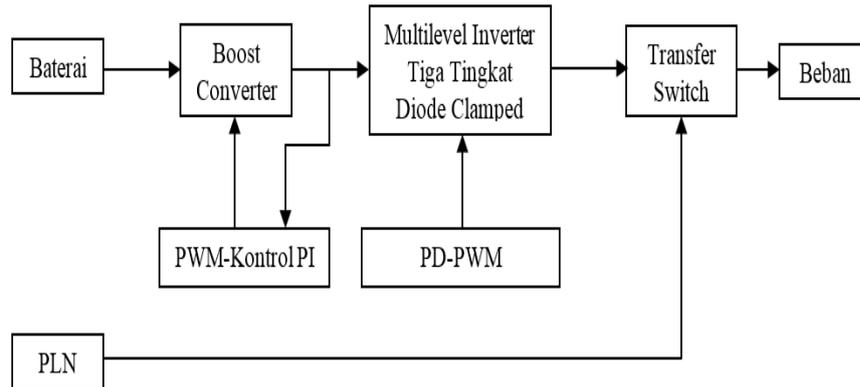
Menurut Sharath et al. (2019), UPS (Uninterruptible Power Supply) yaitu alat yang mampu menyuplai emergency power ke beban saat beban kehilangan sumber listrik. Sistem UPS berdasarkan cara kerjanya dibagi menjadi online, offline, and line interactive (Aamir dan

Mekhilef, 2016). UPS ini terdiri dari baterai sebagai sumber energi, DC-DC boost converter sebagai penaik tegangan baterai dan multilevel inverter sebagai konverter DC-AC. Untuk memaksimalkan performa, DC-DC Boost Converter dilengkapi dengan kontrol PI untuk menjaga kestabilan tegangan serta Multilevel Inverter menggunakan metode Phase Disposition PWM sehingga bentuk gelombang tegangan AC akan mendekati sinusoidal. DC-DC Boost Converter dengan kontrol PI akan menaikkan dan menstabilkan tegangan sebesar 340 VDC serta Multilevel Inverter sebagai konverter DC-AC sebesar 220 VAC yang dapat disalurkan ke beban sebagai pengganti sumber energi utama. Multilevel Inverter adalah inverter yang memiliki banyak level tegangan maupun arus sesuai dengan banyak tingkatannya. Inverter ini memiliki kelebihan dalam menghasilkan Total Harmonic Distortion (THD) yang lebih kecil dari jenis inverter lainnya seperti squarewave inverter dan SPWM inverter. Untuk menghasilkan tegangan AC yang baik (dengan mereduksi konten harmonisa), maka perlu digunakan metode multicarrier PWM untuk pensaklarannya (Uthirasamy et al, 2015). Metode yang dipakai pada penelitian ini adalah Phase Disposition-PWM (PD-PWM). Semakin kecil nilai THD yang timbul maka pengaruhnya pada faktor daya inverter dan rugi-rugi yang dihasilkan akibat harmonisa juga mengecil, sehingga efisiensi inverter meningkat. Dengan berkembang pesatnya teknologi, diharapkan perangkat UPS yang dibuat mampu menyuplai tegangan dan arus sesuai dengan kebutuhan beban (Yustisia, 2011).

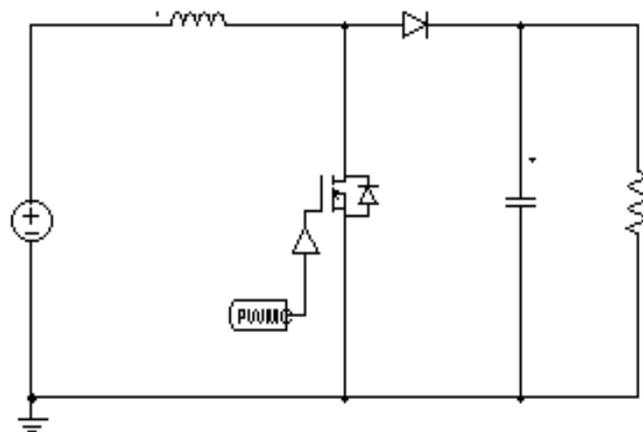
METODE PENELITIAN

1. Blok Diagram

Sistem UPS yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 1. UPS ini terdiri dari baterai sebagai sumber energi, boost converter dengan kontrol PI untuk menaikkan dan menstabilkan tegangan, multilevel inverter dengan switching PD-PWM untuk konversi DC-AC dan transfer switch sebagai peralihan dari sumber utama ke sumber UPS.



GAMBAR 1. Blok Diagram



GAMBAR 2. Rangkaian Ekuivalen Boost Converter

2. Perancangan Boost Converter

Boost converter juga dikenal sebagai up converter dimana menghasilkan tegangan output yang lebih besar dibandingkan tegangan input (Adnan et al., 2017; Nagarajan et al., 2016; Batarseh dan Harb, 2017). Boost converter hanya membutuhkan empat komponen utama yaitu induktor, saklar elektronik, dioda dan kapasitor. Pada penelitian ini boost converter digunakan untuk dapat menaikkan tegangan keluaran baterai dari 144 Volt menjadi 340 Volt dengan frekuensi switching 40 KHz. Rangkaian boost converter yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.

Berikut adalah persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapatkan parameter-parameter dari boost converter :

$$D = 1 - \left(\frac{V_{s(\min)}}{V_o} \right) \quad (1)$$

dengan D = Duty Cycle (%), $V_{s(\min)}$ = Tegangan input minimum (V) dan V_o = Tegangan output (V).

$$R = \frac{V_o}{I_o} \quad (2)$$

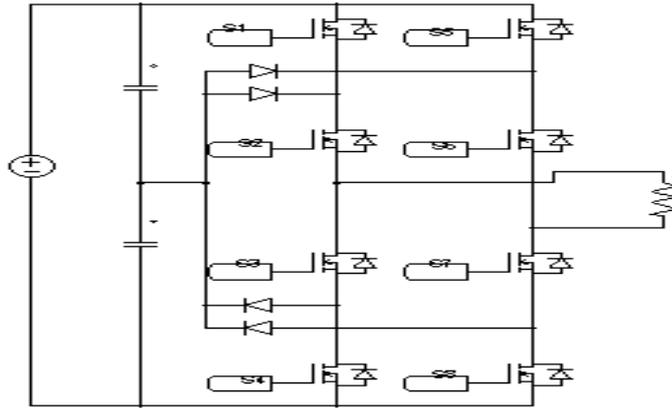
dengan R = Resistansi beban (Ω), dan I_o = Arus output (A).

$$L = \left(\frac{1}{f} \right) \times [V_o - V_{s(\min)}] \times \left(\frac{V_{s(\min)}}{V_o} \right) \times \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right) \quad (3)$$

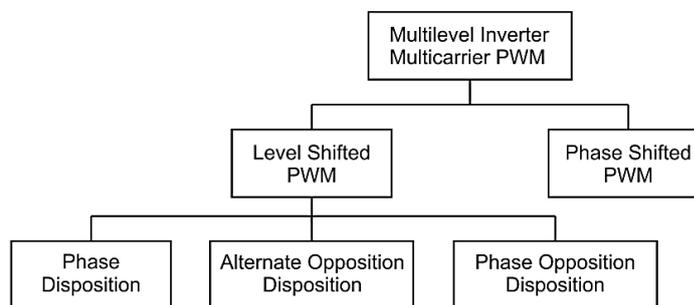
dengan L = Induktansi Induktor (H), f = frekuensi switching (Hz) dan ΔI_L = Ripple arus induktor (A)

$$C = \frac{V_o \times D}{R \times \Delta V_o \times f} \quad (4)$$

Dengan C = Kapasitansi kapasitor (F) dan ΔV_o = Ripple tegangan output (V)



GAMBAR 3. Rangkaian Diode Clamped Multilevel Inverter Tiga Tingkat



GAMBAR 4. Teknik Modulasi Multilevel Inverter

3. Perancangan Multilevel Inverter

Ada tiga topologi utama dari multilevel inverter yaitu multilevel inverter tipe diode clamped, tipe flying capacitor dan tipe cascaded H-bridge (Matalata dan Hamid, 2016).

Topologi multilevel inverter yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. Topologi yang digunakan pada multilevel inverter ini adalah tiga tingkat diode clamped dengan 2 lengan, yang nantinya dapat menghasilkan keluaran tegangan sebesar 5 tingkat.

Komponen utama pada multilevel inverter dapat dilihat pada Tabel 1. Dapat diketahui bahwa di dalam multilevel inverter terdapat 3

komponen penting, yaitu switch, kapasitor, dan dioda yang berfungsi untuk membatasi peralihan kondisi ON/OFF unit komponen saklar daya terhadap sumber tegangan DC-nya (Matalata dan Hamid, 2016). Dari tabel tersebut juga dapat dicari kebutuhan jumlah masing-masing komponen untuk membuat multilevel inverter

4. Phase Disposition-PWM

Untuk mengontrol dan menghasilkan sinyal keluaran multilevel inverter dibutuhkan skema modulasi yang tepat. Berbagai teknik modulasi dapat dilihat pada Gambar 4.

TABEL 1. Komponen Utama Diode Clamped Multilevel Inverter

Komponen	Jumlah
Level / Tingkatan	n
Switch	2 (n-1)
Kapasitor	n-1
Diode Clamping	(n-1)(n-2)

Untuk teknik modulasi multicarrier PWM dibutuhkan $n-1$ sinyal pembawa untuk menghasilkan n -tingkat tegangan output. Semua sinyal carrier memiliki amplitudo yang sama namun di posisi yang berbeda serta memiliki frekuensi yang sama. Terdapat 3 jenis metode modulasi multicarrier PWM di dalam mode level shifted PWM, yang salah satunya adalah Phase Disposition PWM (PD-PWM). Metode PD-PWM adalah salah satu strategi modulasi dari perpotongan antara gelombang segitiga dengan gelombang sinus yang menghasilkan pulsa pembangkit (Semendawai dan Sutikno, 2018). Pada teknik PD-PWM, semua sinyal carrier memiliki frekuensi yang sama dan tidak memiliki perbedaan fasa (Rathore et al., 2015). Perbedaan dengan jenis teknik modulasi di dalam mode yang sama adalah yaitu masing-masing sinyal carrier yang berbeda dalam sudut fasa dan frekuensinya.

Hasil simulasi penggunaan teknik modulasi Phase Disposition – PWM dapat dilihat pada Gambar 5. Multilevel inverter tiga tingkat membutuhkan dua sinyal carrier dan keduanya memiliki amplitudo dan frekuensi yang sama.

5. Kontrol PI

Sistem kontrol PI dapat digunakan untuk mempercepat rise time, memperkecil error steady state dan memperkecil overshoot.

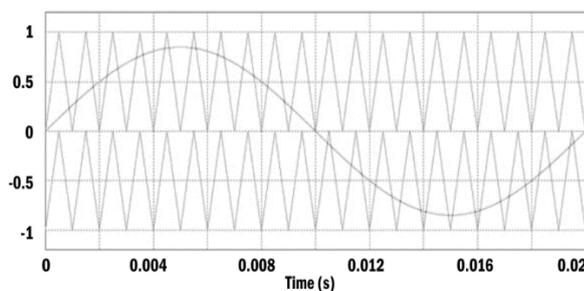
Kontrol PI menghitung nilai error yaitu perbedaan antara variabel terukur dan setpoint yang ditentukan (Bakar et al., 2015).

Blok diagram kontrol P dapat dilihat pada Gambar 6. Perbedaan nilai setpoint dan nilai aktual akan menjadi feedback untuk kemudian disesuaikan (dikurangi atau ditambah) oleh controller sesuai dengan nilai setpoint. Kontrol P mampu mempercepat rise time sehingga sistem akan mampu mencapai kondisi steady lebih cepat

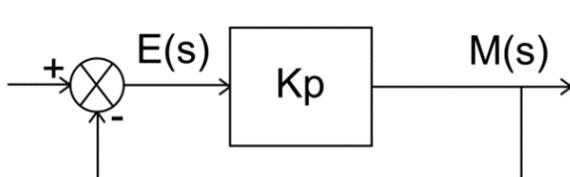
Blok diagram kontrol I dapat dilihat pada Gambar 7. Kontrol ini digunakan saat terjadi osilasi mendekati kondisi steady state. Kontrol ini mampu mengurangi osilasi yang terjadi sehingga kondisi steady akan lebih cepat tercapai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

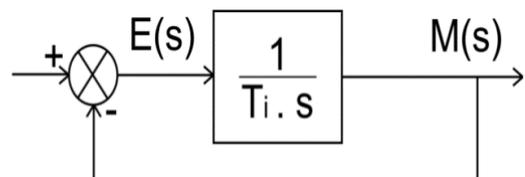
Simulasi dari penelitian ini menggunakan software PSIM untuk membuktikan perhitungan dan teori yang sudah dijelaskan. Desain dari sistem ini yaitu baterai sebesar 144 V DC, lalu dinaikkan dengan boost converter menjadi 340 V DC lalu dikonversi menjadi tegangan AC sebesar 220 V AC oleh multilevel inverter tipe diode clamped.



GAMBAR 5. Teknik Modulasi PD-PWM



GAMBAR 6. Kontrol P



GAMBAR 7. Kontrol I

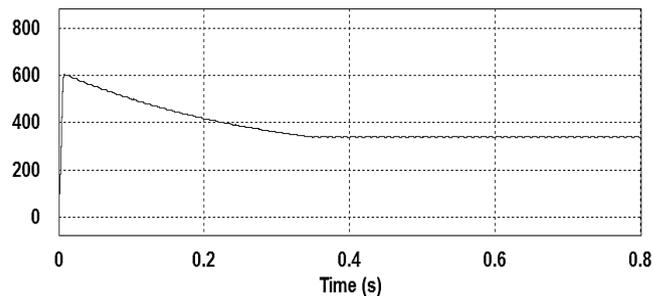
1. Simulasi Open Loop

Hasil simulasi boost converter dalam kondisi open loop dapat dilihat pada Gambar 8. Dapat diketahui bahwa masih terdapat overshoot yang cukup tinggi dan waktu steady yang cukup lama.

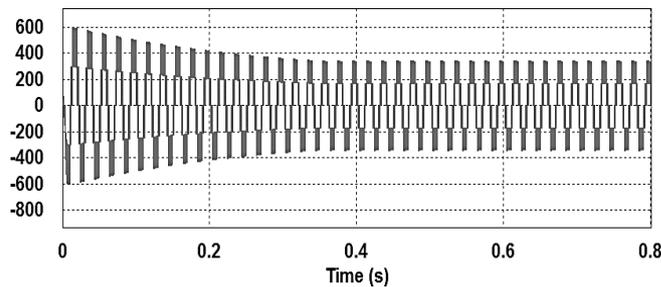
Hasil simulasi multilevel inverter dalam kondisi open loop dapat dilihat pada Gambar 9. Dapat diketahui bahwa akibat tegangan output boost

converter yang masih belum stabil menyebabkan tegangan output dari multilevel inverter juga tidak stabil

Data simulasi sistem open loop dengan perubahan beban dapat dilihat pada Tabel 2 dan dengan perubahan tegangan input dapat dilihat pada Tabel 3. Dapat diketahui bahwa saat beban dan atau tegangan input berubah maka tegangan output boost converter dan multilevel inverter juga berubah cukup signifikan.



GAMBAR 8. Tegangan Keluaran Boost Converter Open Loop (Tegangan Input 144 V)



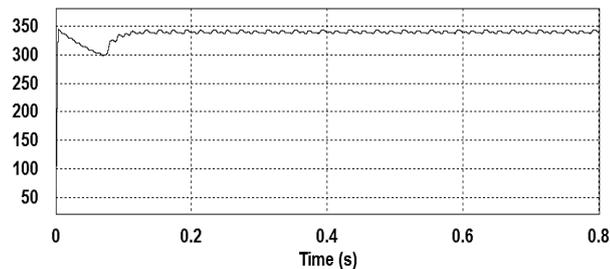
GAMBAR 9. Tegangan Keluaran Multilevel Inverter Open Loop (Tegangan Input 144 V)

TABEL 2. Data Simulasi Open Loop Beban Berubah (Tegangan Input 144 V)

Duty Cycle (%)	Beban (Ω)	Boost Converter		Multilevel Inverter	
		V_o (V)	Error V_o (%)	V_o (V)	Error V_o (%)
57,5	42	345,6	1,65	223,9	1,80
57,5	142	361,0	6,18	234,7	6,69
57,5	242	377,1	10,92	245,1	11,44
57,5	343	393,4	15,72	255,7	16,25
57,5	442	410,0	20,61	266,5	21,16
57,5	542	427,1	25,62	277,6	26,19
57,5	642	444,7	30,79	289,1	31,38
57,5	742	462,9	36,17	300,9	36,77
57,5	842	481,5	41,62	312,9	42,24

TABEL 3. Data Simulasi Open Loop Tegangan Input Berubah (Beban 242 Ω)

Duty Cycle (%)	V_{in} (V)	Boost Converter		Multilevel Inverter	
		V_o (V)	Error V_o (%)	V_o (V)	Error V_o (%)
57,5	124	324,7	4,48	211,1	4,03
57,5	129	337,8	0,63	219,6	0,16
57,5	134	350,9	3,22	228,1	3,70
57,5	139	364,1	7,07	236,6	7,57
57,5	144	377,1	10,92	245,1	11,44
57,5	149	390,2	14,77	253,7	15,31
57,5	154	403,3	18,62	262,2	19,18
57,5	159	416,4	22,47	270,7	23,05
57,5	164	429,5	26,33	279,3	26,92



GAMBAR 10. Tegangan Keluaran Boost Converter Closed Loop (Tegangan Input 144 V)

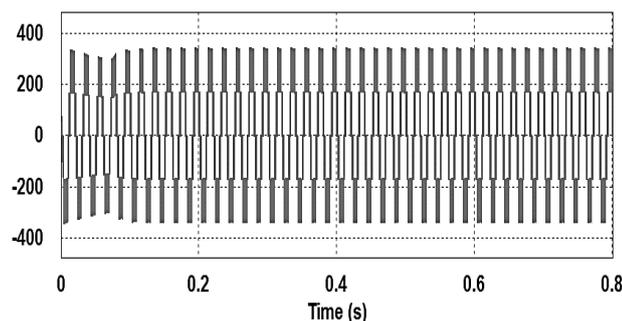
2. Simulasi Closed Loop

Simulasi closed loop dilakukan dengan menggunakan kontrol PI pada boost converter untuk menstabilkan tegangan outputnya sehingga membuat tegangan output dari multilevel inverter ikut menjadi stabil dikarenakan tegangan inputnya sudah stabil.

Respon sistem tegangan output boost converter saat close loop dapat dilihat pada Gambar 10. Dapat diketahui settling time dari gelombang tegangan output boost converter dapat

diperkecil menjadi 0.109 sekon serta overshoot dapat diredam dibandingkan saat open loop yang memiliki nilai settling time 0.326 sekon serta overshoot yang cukup tinggi.

Respon sistem tegangan output multilevel inverter saat close loop dapat dilihat pada Gambar 11. Saat keluaran boost converter yang akan menjadi masukan inverter sudah distabilkan dengan kontrol PI maka keluaran multilevel inverter akan stabil pula.



GAMBAR 11. Tegangan Keluaran Multilevel Inverter Closed Loop (Tegangan Input 144 V)

TABEL 4. Data Simulasi Close Loop Beban Berubah (Tegangan Input 144 V)

Duty Cycle (%)	Beban (Ω)	Boost Converter		Multilevel Inverter	
		V_o (V)	Error V_o (%)	V_o (V)	Error V_o (%)
57,5	42	339,2	0,22	219,2	0,35
57,5	142	339,5	0,12	220,2	0,11
57,5	242	339,7	0,08	220,4	0,18
57,5	343	339,7	0,08	220,4	0,21
57,5	442	339,8	0,05	220,5	0,23
57,5	542	339,8	0,04	220,6	0,26
57,5	642	339,9	0,03	220,6	0,29
57,5	742	339,9	0,02	220,6	0,28
57,5	842	339,9	0,01	220,6	0,29

TABEL 5. Data Simulasi Close Loop Tegangan Input Berubah (Beban 242 Ω)

Duty Cycle (%)	V_{in} (V)	Boost Converter		Multilevel Inverter	
		V_o (V)	Error V_o (%)	V_o (V)	Error V_o (%)
57,5	124	339,8	0,04	220,6	0,28
57,5	129	339,8	0,05	220,5	0,26
57,5	134	339,7	0,07	220,5	0,24
57,5	139	339,7	0,07	220,4	0,20
57,5	144	339,7	0,08	220,4	0,18
57,5	149	339,6	0,09	220,4	0,18
57,5	154	339,6	0,09	220,4	0,18
57,5	159	339,6	0,09	220,4	0,2
57,5	164	339,6	0,09	220,5	0,22

Data simulasi sistem close loop dengan perubahan beban dapat dilihat pada Tabel 4 dan dengan perubahan tegangan input dapat dilihat pada Tabel 5. Dapat diketahui bahwa saat beban dan atau tegangan input berubah dihasilkan tegangan output boost converter dan multilevel inverter stabil. Hal ini disebabkan penggunaan kontrol PI pada keluaran boost converter

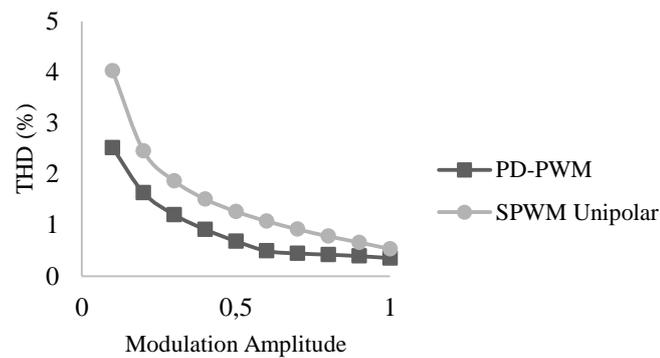
3. Perbandingan Metode PD-PWM dan SPWM

Perbedaan mencolok dari metode Phase Disposition-PWM (PD-PWM) dan SPWM

terletak pada nilai Total Harmonic Distortion (THD) yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena bentuk gelombang output yang berbeda. Metode PD-PWM menghasilkan gelombang output yang memiliki banyak tingkat (multilevel) sehingga THD yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan Metode SPWM yang menghasilkan bentuk gelombang output tanpa tingkatan (non-multilevel). Berikut perbandingan performa inverter yang menggunakan metode PD-PWM dan SPWM Unipolar dengan tegangan input 340 V :

TABEL 6. Perbandingan Performa Metode PD-PWM dan SPWM Unipolar

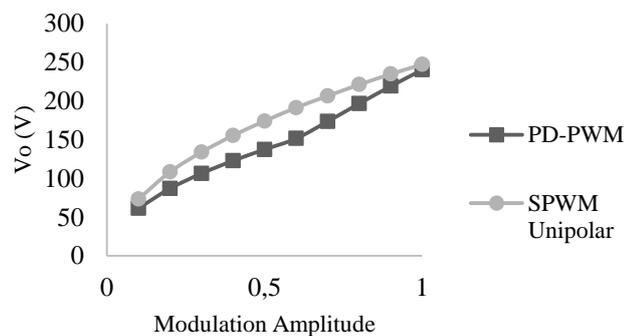
MA	PD-PWM		SPWM Unipolar	
	THD _v (%)	V _o (V)	THD _v (%)	V _o (V)
1	0,353	240,27	0,531	247,17
0,9	0,392	220,41	0,660	234,81
0,8	0,420	196,65	0,780	221,09
0,7	0,443	173,51	0,918	206,52
0,6	0,492	151,51	1,076	191,31
0,5	0,685	137,36	1,267	174,03
0,4	0,915	122,86	1,511	155,37
0,3	1,204	106,40	1,867	133,94
0,2	1,635	86,87	2,457	108,36



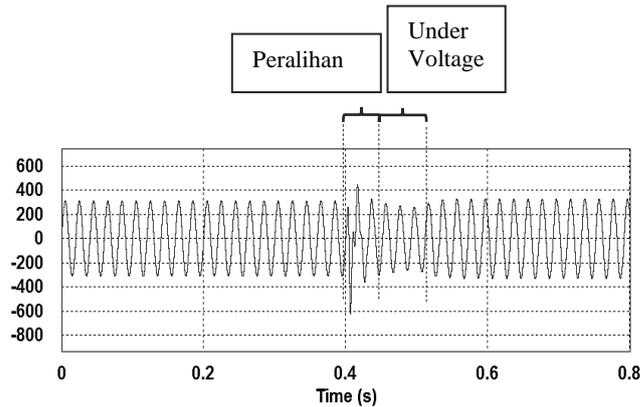
GAMBAR 12. Grafik Perbandingan THD Metode PD-PWM dan SPWM Unipolar

Data simulasi inverter dengan menggunakan metode PD-PWM dan SPWM dapat dilihat pada Tabel 6. Dapat diketahui bahwa inverter dengan metode PD-PWM mencapai target tegangan output mendekati 220 V saat MA bernilai 0.9 dan menghasilkan THD tegangan

sebesar 0.39222% sedangkan inverter dengan metode SPWM Unipolar mencapai tegangan output mendekati 220 V saat MA bernilai 0.8 dan menghasilkan THD tegangan sebesar 0.78089%.



GAMBAR 13. Grafik Perbandingan Tegangan Output Metode PD-PWM dan SPWM Unipolar



GAMBAR 14. Tegangan Beban saat Peralihan dari Sumber Utama ke Sumber UPS

Grafik THD yang dihasilkan dari metode PD-PWM dan SPWM dapat dilihat pada Gambar 12. Dapat diketahui bahwa metode PD-PWM menghasilkan THD yang lebih rendah dibandingkan dengan metode SPWM. Sedangkan grafik perbandingan tegangan output inverter dengan metode PD-PWM dan SPWM dapat dilihat pada Gambar 13.

4. Simulasi Sistem UPS

Gelombang tegangan output inverter saat peralihan dari sumber utama menuju sumber UPS dapat dilihat pada Gambar 14. Dapat diketahui bahwa saat terjadi gangguan pada sumber utama maka beban akan dialihkan untuk di supply oleh sumber UPS. Dari hasil simulasi didapat waktu peralihan dari sumber utama menuju sumber UPS yaitu sebesar 23 milisekon. Setelah sumber berhasil dialihkan menuju UPS terjadi gangguan berupa undervoltage dimana tegangan turun menjadi sekitar 200 V. Hal ini disebabkan karena pengaruh pembebanan dimana saat transisi (peralihan) dari sumber utama menuju UPS terjadi perubahan nilai beban walaupun hanya sebentar. Hal ini mengakibatkan perubahan nilai tegangan sementara. Dari simulasi yang dilakukan dapat diketahui bahwa beban akan tetap mendapat suplai daya walaupun sumber utama mati karena terdapat perangkat UPS.

KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa : Sistem UPS yang terdiri dari boost converter yang disertai kontrol PI dan multilevel inverter bekerja dengan baik sesuai dengan

perancangan. Boost converter mampu menaikkan tegangan baterai sebesar 339,71 volt dan kontrol PI mampu menstabilkannya walaupun beban dan tegangan output dirubah serta hanya menghasilkan settling time sebesar 0,109 sekon dan meredam overshoot. Multilevel inverter dengan metode modulasi PD-PWM bekerja dengan baik dengan mampu mengonversi tegangan DC keluaran dari boost converter menjadi tegangan AC sebesar 220,71 volt serta menghasilkan THD tegangan sebesar 0,39222%. Sistem UPS hanya membutuhkan waktu peralihan 23 milisekon untuk perpindahan dari sumber utama ke sumber UPS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi Badan Riset dan Inovasi Nasional untuk mendanai penelitian ke Green Energy and Sustainability Research Center di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aamir, M & Mekhilef, S. (2016). Online Transformerless Uninterruptible Power Supply (UPS) System with a Smaller Battery Bank for Low Power Applications, *IEEE Transaction on Power Electronics* ,32(1), 233-247
- Adnan, M.F, Oninda, M.A.M, Nishat, M.M & Islam, N. (2017). Design and Simulation of a DC-DC Boost Converter with PID Controller for Enhanced Performance, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6(9), 27-32

- Bakar, A.A, Utomo, W.M, Taufik, T, Aizam, S & Jumadri. (2015). DC/DC Boost Converter with PI Controller Using Real-Time Interface, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(19), 9078-9082
- Batarseh, I & Harb, A. (2017). Power Electronic : Circuit Analysis and Design Vol. 1, Ed.2, Cham : Springer International Publishing AG
- Matalata, H, Hamid, M.I. (2016). Pengembangan Topologi Inverter Multilevel Tiga Tingkat Satu Fasa Tipe Diode Clamped dengan Mereduksi Komponen Saklar Daya, *Jurnal Nasional Teknik Elektro (JNTE)*, 5(3), 360-367
- Nagarajan, R, Chandramohan, J & Sathishkumar, S. (2016). Implementation of PI Controller for Boost Converter in PV System, *International Journal of Advanced Research in Management, Architecture, Technology and Engineering*, 2(12), 6-10
- Ponniran, A, Zulkifly, N & Joret, A. (2011). Development of On-line Single Phase Uninterruptible Power Supply (UPS) for Low Power Application, *International Seminar on the Application of Science & Mathematics*
- Pratama, M.B, Murti, M.A & Kurniawan, E. (2019). Sistem Monitoring pada Uninterruptible Power Supply Berbasis Internet of Things. *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains*, 710-714
- Rathore, S, Kirar, M.K & Bhardwaj, S.K. (2015). Simulation of Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter Using PD, POD, APOD Techniques, *Electrical & Computer Engineering : An International Journal (ECIJ)*, 4(3), 27-41
- Semendawai, H, Sutikno, T. (2018). Pemodelan Neutral Point Clamped-Multilevel Inverter Tiga Fasa Menggunakan Metode Phase Disposition Pulse Width Modulation, *Jurnal Ilmu Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 4(1), 28-34
- Sharath, C.M.N, Chayapathy, V & Vasu, M. (2019). Design and Simulation of Online Uninterrupted Power Supply, *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research*, 7(5), 15-19
- Uthirasamy, R, Ragupathy, U.S & Chinnaiyan, V.K. (2015). Structure of Boost DC-link Cascaded Multilevel Inverter for Uninterrupted Power Supply Applications, *The Institution of Engineering and Technology*, 8(11), 2085-2096
- Warjono, S, & Suryono. (2015). Rancang Bangun Uninterruptible Power Supply (UPS) 1300 VA, *ORBITH*, 11(3), 209-213
- Yustisia, L. (2011). Rancang Bangun UPS Untuk Beban 900 VA Berbasis Mikrokontroler. Surabaya : Skripsi Program D4 Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

 PENULIS:

Gede Patrianaya Margayasa Wirsuyana

Program Studi Teknik Elektro Industri,
Departemen Teknik Elektro, Politeknik
Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS,
Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa
Timur 60111

Email: patrianayagede@gmail.com

Muhammad Nizar Habibi

Program Studi Teknik Elektro Industri,
Departemen Teknik Elektro, Politeknik
Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS,
Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa
Timur 60111

Email: nizarhabibi@gmail.com

Novie Ayub Windarko

Program Studi Teknik Elektro Industri,
Departemen Teknik Elektro, Politeknik
Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS,
Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa
Timur 60111

Email: ayub@pens.ac.id

Suryono

Program Studi Teknik Elektro Industri,
Departemen Teknik Elektro, Politeknik
Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS,
Keputih, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa
Timur 60111

Email: sur@pens.id