

Rancang Bangun *Buck-Boost Converter* Pada Sistem Charging Baterai dengan Sumber *Solar Cell* Menggunakan Kontrol PI pada *Uninterruptible Power Supply (UPS) Offline* untuk Aplikasi Beban Rumah Tangga

Yeheskiel Rante Payung, Era Purwanto, Farid Dwi Murdianto
 Program Studi D4 Teknik Elektro Industri
 Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
 era@pens.ac.id

Abstrak - Kasus pemadaman listrik bergilir sudah menjadi masalah umum di Indonesia. Kebutuhan listrik semakin memuncak karena penggunaan energi listrik dapat menghidupkan berbagai peralatan rumah tangga dan industri. Saat ini, banyak terjadi pemadaman listrik secara bergilir karena kapasitas beban sudah melebihi kapasitas yang sudah ditentukan. Akibatnya, pasokan energi listrik menjadi tidak stabil, sehingga berdampak pada peralatan listrik rumah tangga. Akibat pemadaman listrik yang tidak menentu maka digunakan pemasok cadangan yang dapat bekerja ketika sumber daya utama tidak aktif atau disebut UPS (*Uninterruptible Power Supply*). UPS dapat menjadi energi cadangan listrik sementara pada saat terjadi pemadaman listrik sehingga mengurangi dampak pada peralatan listrik rumah tangga. Pada perancangan sistem ini, digunakan sumber *solar cell* 300WP (*watt peak*) yang digunakan untuk proses pengisian baterai 48V DC 45Ah dengan menggunakan *buck-boost converter*. Ketika sumber utama PLN tidak aktif ATS (*Automatic Transfer Switch*) secara otomatis akan memindahkan catu daya dari baterai. Dari sumber baterai digunakan inverter satu fasa untuk mencatu beban rumah tangga sebesar 50W 220V AC.

Kata kunci: pemadaman listrik, UPS, buck-boost converter, inverter satu fasa

I. PENDAHULUAN

Saat ini, dengan semakin berkembangnya teknologi di dunia, kebutuhan energi terutama energi listrik semakin meningkat [1]. Kasus pemadaman listrik bergilir sudah menjadi masalah yang umum di Indonesia, khususnya di daerah luar pulau Jawa [2]. Kebutuhan penggunaan peralatan listrik semakin meningkat sehingga sumber energi listrik tidak mampu memenuhi pasokan listrik [3]. Akibatnya, terjadi pemadaman listrik secara bergilir karena kapasitas beban sudah melebihi kapasitas yang sudah ditentukan. Khusus pada energi listrik, kebutuhan pasokan listrik yang stabil dan terus-menerus sangat dibutuhkan oleh hampir seluruh pengguna baik itu personal maupun industri. Oleh karena itu, untuk menghindari terjadinya pemadaman listrik dibutuhkanlah pemasok daya cadangan untuk menjaga pasokan energi listrik stabil/kontinu menggunakan sistem *Uninterruptible Power Supply* [4]. UPS

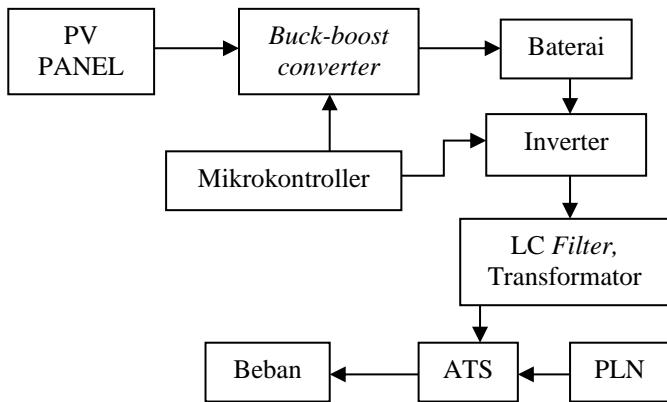
adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk mencatu daya sementara saat daya utama dari jaringan padam. Daya sementara ini bersumber dari DC yang disimpan dalam baterai. Sistem UPS dapat dihubungkan dengan beban-beban yang sensitif/kritis seperti peralatan medis, sistem komunikasi/jaringan, transaksi finansial, dan lain sebagainya [3], [5]. Ketika catu daya dari jaringan utama padam, beban-beban kritis ini tetap mendapatkan catu daya dari UPS. Selama terjadi gangguan pada sumber listrik utama, maka UPS akan menyuplai kebutuhan daya beban.

UPS dapat dikategorikan dalam beberapa tipe, yaitu UPS *line interactive*, UPS *online*, dan UPS *offline* [5]. Pada UPS *offline* saat terjadi gangguan, beban akan merasakan interupsi daya akibat proses pemindahan saklar dari jaringan utama PLN ke sumber cadangan seperti *solar cell*, turbin, atau generator. Pada sistem ini bertujuan untuk merancang dan membangun suatu sistem pemasok daya cadangan (*UPS Offline*) dengan sumber *Solar cell* menggunakan saklar otomatis berupa ATS (*Automatic transfer switch*) dalam proses pemindahannya untuk mencatu beban rumah tangga 50W.

II. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan UPS (*Uninterruptible power supply*) *Offline* pada aplikasi beban rumah tangga dengan daya 50W ini menggunakan dua sumber dalam satu garis aliran daya. Dua sumber tersebut yaitu dari PLN dan dari baterai 48V DC 45Ah. Ketika sumber PLN tidak aktif maka ATS secara otomatis mengubah ariran sumber daya ke Baterai yang digunakan untuk *supply* daya beban. Sumber *solar cell* 300WP digunakan untuk mengisi daya pada baterai 48V DC 45Ah menggunakan *buck-boost converter* dengan tegangan *charge* 57,6V DC. Dari baterai dihubungkan inverter satu fasa yang akan mengubah tegangan 48 V DC menjadi 33,94 V AC yang selanjutnya dihubungkan dengan *LC filter* dan transformator *step up* untuk menaikkan tegangan menjadi 220V AC. Proses pengaturan PWM (*pulse width modulation*) untuk mengatur *duty cycle* menggunakan kontrol PI pada *buck boost converter* dan SPWM (*Sinusoidal pulse width modulation*) pada inverter satu fasa

dalam sistem ini menggunakan mikrokontroller STM32F4. Bentuk blok diagram yang akan dirancang ditunjukkan seperti pada [Gambar 1](#).



Gambar 1. Blok diagram sistem

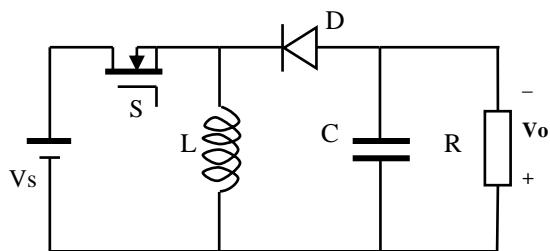
Kalkulasi kebutuhan beban dan spesifikasi atau rating daya setiap beban dapat ditunjukkan pada [Tabel 1](#).

TABEL 1
ESTIMASI DAYA BEBAN

No	Beban	Daya(W)	Jumlah	Total Daya beban (W)
1	Adaptor HP 5V DC; 2A	10	3 unit	30
2	Lampu	10	2 unit	20
Total daya beban keseluruhan				50

A. Perancangan Buck-Boost Converter

Prinsip kerja *buck-boost converter* dimana tegangan input dapat lebih besar atau lebih rendah dari tegangan keluaran [6]. PWM pada *buck-boost converter* tergantung pada nilai D (*duty cycle*). Bila D>0,5 maka tegangan output akan lebih besar dari tegangan input, sedangkan bila D<0,5 maka tegangan output akan lebih kecil dari tegangan input, dan tegangan input sama dengan tegangan output saat D=0,5 [7]. Rangkaian *buck boost converter* dapat dilihat pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. Rangkaian *Buck-boost converter*

Parameter *buck-boost converter* dapat ditentukan pada [Tabel 2](#) berikut. Persamaan (1) sampai (3) digunakan untuk menghitung parameter pada *buck boost converter* [8].

TABEL 2
PARAMETER BUCK-BOOST CONVERTER

Parameter	Nilai
Tegangan input (Vs)	36V-51V
Frekuensi switching PWM (f)	40kHz
Tegangan output (Vo)	57,6V
Ripple arus (ΔI_L)	20% A
Ripple tegangan (ΔV_o)	0,5% V
Inductor (L)	153 μ H
Capasitor (C)	363,423 μ F

$$V_o = -V_s \frac{D}{1-D} \quad (1)$$

$$L = \frac{(1-D)^2 R}{2f} \quad (2)$$

$$C = \frac{V_o D}{\Delta V_o R f} \quad (3)$$

B. Perancangan Inverter, LC filter, dan Transformator

Rangkaian *inverter* satu fasa menggunakan empat buah IGBT untuk proses *switching* yang bekerja secara bergantian. Proses penyulutan IGBT dapat bekerja secara bergantian berdasarkan *trigger* SPWM yang masuk ke driver *inverter* oleh mikrokontroller. SPWM adalah jenis PWM yang dibangkitkan dengan cara membandingkan sinyal segitiga (*carrier*) dan sinyal sinus (*reference*) [9]. SPWM terdiri atas dua jenis, yaitu *Bipolar SPWM* yang memiliki satu sinyal referensi/sinus dan *Unipolar SPWM* yang memiliki dua sinyal referensi [10]. Pada inverter terdapat LC filter untuk mengurangi pengaruh harmonika keluaran inverter. Dalam menganalisa dan menentukan nilai LC filter tergantung pada penyulutan komponen *switching* [9]. Persamaan (4) sampai (6) dapat digunakan untuk menghitung parameter *inverter*, LC filter, dan transformator [2]. Spesifikasi data *inverter* satu fasa, filter LC, dan transformator dapat ditentukan pada [Tabel 3](#) berikut.

TABEL 3
PARAMETER INVERTER, LC FILTER, DAN TRANSFORMATOR

Parameter	Nilai
Tegangan input <i>inverter</i> (V _{Baterai}) DC	48V
Frekuensi switching SPWM (f)	13kHz
Frekuensi cut off (f _C)	2,5kHz
Tegangan output <i>inverter</i> (V _{Inverter}) AC	33,94V
Tegangan output beban (V _{Load})AC	220V
Angka transformasi trafo (a)	1 : 6,48
Filter Induktor (L _F)	506 μ H
Filter Kapasitor (C _F)	8 μ F

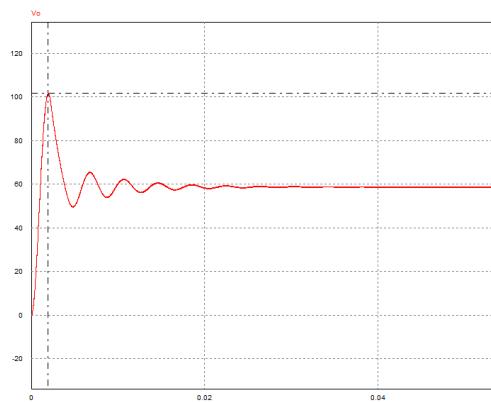
$$V_{inverter(AC)} = \frac{V_{Baterai(DC)}}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{V_{inverter(AC)}}{V_{Load(AC)}} \quad (5)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_F C_F}} \quad (6)$$

C. Perancangan Kontrol PI (Proportional-Integral)

Kontrol PI merupakan kombinasi dari kontroller P dan kontroller I. Kontroller P digunakan untuk mengatur kenaikan nilai penguat (*gain*) sehingga mempercepat respon sistem sedangkan kontroler I untuk menghilangkan adanya nilai error dalam kondisi stabil/steady [11]. Terdapat beberapa Metode *tuning* Kontroller PI, seperti *trial-error*, analitik, Ziegler-Nichols, dan Cohen-Coon [12]. Kontrol tegangan output *charging* baterai pada sistem ini menggunakan kontrol PI menggunakan dua metode, yaitu metode analitik dimana penentuan nilai Kp (konstanta proporsional) dan Ki (konstanta integral) bergantung pada nilai L (*delay transportation*) dan ts (*time settling*) dan metode *trial-error* di mana nilai Kp dan Ki dapat diatur sesuai dengan respon yang diinginkan. Untuk mendapatkan nilai tersebut harus dilakukan simulasi untuk melihat karakteristik tegangan keluaran konverter yang digunakan. Karakteristik simulasi tegangan output pada *buck-boost converter* menggunakan simulator PSIM dapat ditunjukkan pada [Gambar 3](#).



Gambar 3. Output simulasi tegangan *buck-boost converter* dengan simulator PSIM

Berdasarkan Gambar 3, untuk menentukan nilai Kp dan Ki dapat diperoleh data pada [Tabel 4](#) sebagai berikut:

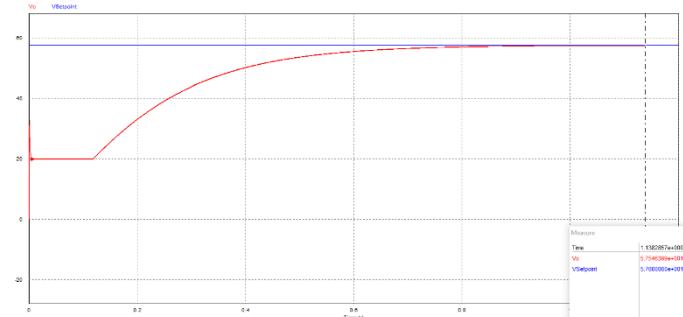
TABEL 4
PARAMETER KONTROL PI

Parameter	Nilai
Tegangan maksimum ($V_{overshoot}$)	101,542V
Tegangan setpoint ($V_{setpoint}$)	57,6V
Time Settling (ts)	0,04 detik
Konstanta Proporsional (Kp)	2,836265
Konstanta integral (Ki)	354,5331

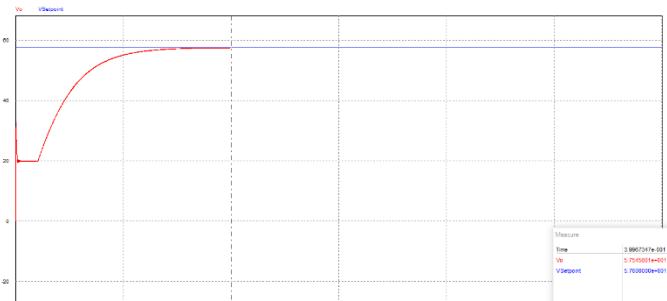
III. PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Simulasi Closeloop Buck-boost Converter

Pada simulasi *closeloop buck-boost converter* akan dilakukan perbandingan respon tegangan output *charging* menggunakan kontrol PI dengan metode analitik berdasarkan data parameter pada [Tabel 2](#) dan metode *trial-error* dengan nilai Kp dan Ki dapat disetting. Pada simulasi ini, metode *trial-error* di setting dengan nilai Kp=2,836265 dan nilai Ki=1000,5331. Hasil respon output tegangan kontrol PI dengan metode analitik dan metode *trial error* dapat dilihat pada [Gambar 4](#) dan [Gambar 5](#).



Gambar 4. Respon output tegangan kontrol PI metode analitik



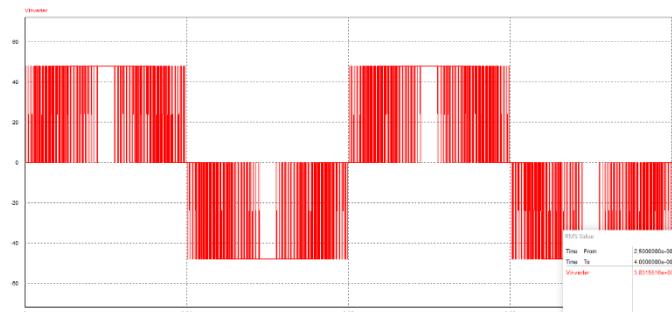
Gambar 5. Respon output tegangan kontrol PI metode *trial error*

Pada [Gambar 4](#) dan [Gambar 5](#) terlihat bahwa pengaturan *duty cycle* PWM menggunakan kontrol PI dapat mengurangi *overshoot* tegangan *charging*. Berdasarkan [Gambar 4](#), terlihat bahwa respon output tegangan dengan kontrol PI menggunakan metode analitik dapat mengurangi *overshoot* tegangan. Tetapi respon output tegangan *charging* untuk mencapai steady state lambat, yaitu sekitar 1,13828 detik. Sedangkan pada [Gambar 5](#). Respon output tegangan kontrol PI metode *trial-error* dengan nilai Kp=2,836265 dan nilai Ki=1000,5331 mampu mempercepat respon output tegangan *charging* untuk mencapai kondisi *steady state* sebesar 0,399967 detik.

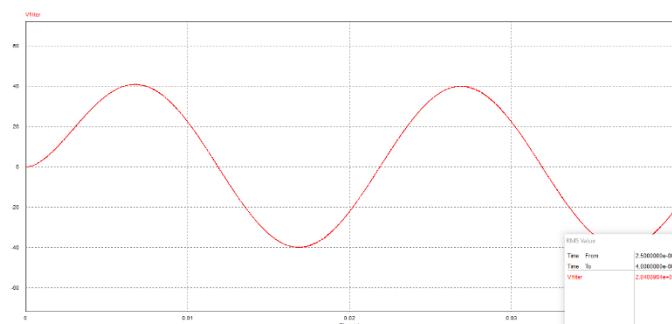
B. Simulasi Inverter Satu Fasa

Pada simulasi *inverter* satu fasa menggunakan *switching* SPWM untuk sistem pensaklaran pada IGBT yang digunakan. SPWM yang digunakan berjenis unipolar SPWM. Berdasarkan data parameter inverter satu fasa pada [Tabel 3](#), bentuk gelombang tegangan output inverter ($V_{inverter}$) dengan teknik *switching* SPWM unipolar dapat dilihat pada [Gambar 6](#). Pada [Gambar 6](#) terlihat bahwa bentuk gelombang output masih jauh dari bentuk gelombang sinus dengan THD (*total harmonic distortion*) masih besar.

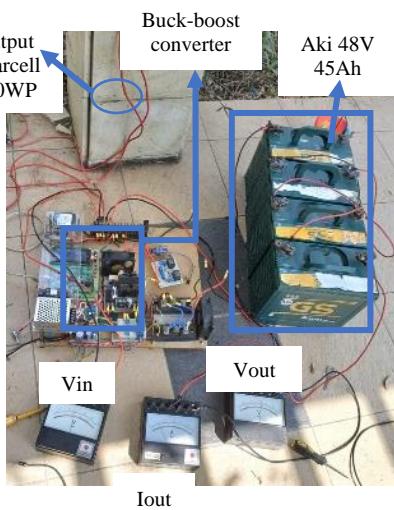
distorsion) tinggi dengan effisiensi yang rendah. Untuk mengatasi hal tersebut dipasang filter LC untuk mengurangi harmonisa sehingga bentuk gelombang output dapat mendekati bentuk sinus. Bentuk gelombang output tegangan setelah dipasang filter LC (V_{filter}) dapat dilihat pada [Gambar 7](#). Untuk mencapai tegangan output nominal beban perencanaan (V_{Load}), maka dipasang transformator *step up* sehingga mencapai tegangan output beban sebesar 220V AC. Bentuk gelombang output beban dapat dilihat pada [Gambar 8](#).



Gambar 6. Output tegangan inverter (V_{inverter}) dengan teknik switching SPWM unipolar



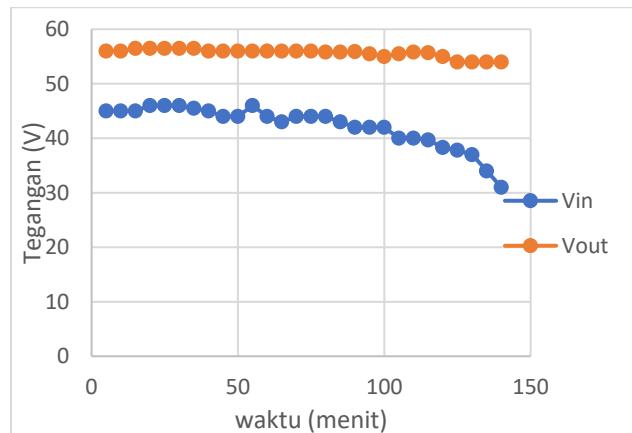
Gambar 7. Output tegangan setelah dipasang filter LC (V_{filter})



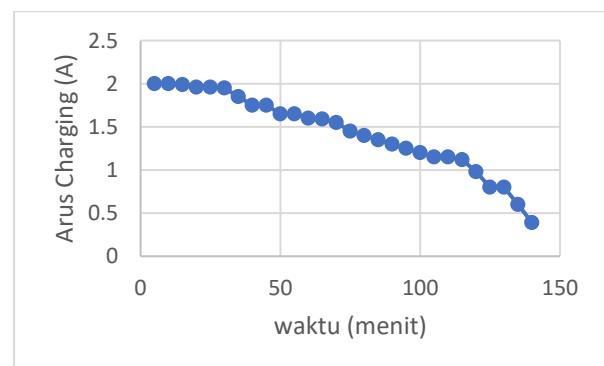
Gambar 8. Pengujian performa charging baterai

C. Pengujian Charging Baterai Dengan Buck-boost Converter

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performa *buck-boost converter* sebagai pengisi baterai 48V DC 45Ah. Pengujian ini menggunakan sumber dari *solar cell*. Nilai SOC awal baterai sebelum di-*charging* yaitu 70% atau 49,9V DC. Pada [Gambar 8](#) menunjukkan proses pengujian performa sistem *charging* baterai dengan *buck-boost converter*, [Gambar 9](#) dan [Gambar 10](#) menunjukkan grafik hasil pengujian *charging* baterai.



Gambar 9. Grafik hasil pengujian nilai tegangan input (V_{in}) dan tegangan output (V_{out}) charging baterai

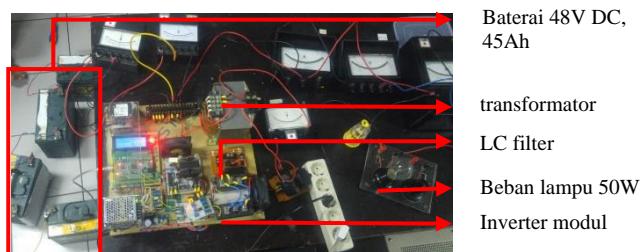


Gambar 10. Grafik hasil pengujian nilai arus *charging* (I_{out}) baterai

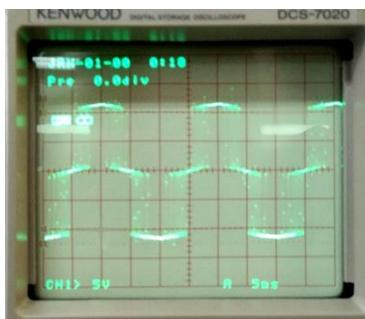
Berdasarkan data grafik pengujian pada [Gambar 9](#) terlihat bahwa performa *converter* yang digunakan untuk *charging* baterai dapat bekerja dengan baik, yaitu ketika terjadi perubahan nilai tegangan input (V_{in}), sistem dapat mempertahankan nilai tegangan output (V_{out}) *charging* antara 54V-56,5V DC. Pada [Gambar 10](#) merupakan grafik data nilai arus output *charging* (I_{out}) baterai. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa aki/baterai mengalami proses *charging* yang dapat dilihat pada penurunan nilai arus output *charging* dengan hasil nilai SOC akhir setelah proses *charging* 51,7V DC (*full charging*)

D. Pengujian Efisiensi Sistem Backup

Pengujian ini dilakukan dengan menguji rangkaian sistem *backup* ketika diberi beban penuh. Beban yang digunakan pada pengujian ini adalah beban resistif berupa lampu pijar dengan nilai daya 50W, 220V AC. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi (η) sistem beban *backup* sesuai daya beban yang direncanakan sesuai [Tabel 1](#). Proses pengujian dapat dilihat pada Gambar 11. Hasil pengujian bentuk gelombang output tegangan *inverter* pada saat tegangan baterai ($V_{baterai}$) 24VDC sebelum dan sesudah difilter LC dapat dilihat pada [Gambar 12](#) dan [Gambar 13](#). Dari hasil pengujian tersebut dengan nilai beban dan tegangan masukan yang bervariasi maka didapatkan data pengujian seperti pada [Tabel 5](#).



Gambar 11. Pengujian sistem *backup*



Gambar 12. Bentuk gelombang output tegangan *inverter* sebelum filter LC



Gambar 13. Bentuk gelombang output tegangan *inverter* setelah filter LC

TABEL 5
DATA PENGUJIAN NILAI EFISIENSI SISTEM BACKUP

$V_{baterai}$ (V) DC	V_{filter} (V) AC	I_{filter} (A) AC	V_{Load} (V) AC	I_{Load} (A) AC	$P_{inverter}$ (W) AC	P_{Load} (W)	η (%)
12	5,38	1,15	50,31	0,11	6,187	5,5341	89,4
24	12,29	1,83	121	0,16	22,49	19,4	86,1
36	18,4	2,1	178	0,2	38,64	35,6	92,1
48	25,86	2,8	201	0,24	72,408	48,24	66,6

Berdasarkan data [Tabel 5](#), V_{filter} merupakan tegangan inverter setelah filter LC, I_{filter} adalah arus inverter setelah filter LC, I_{Load} merupakan arus beban, $P_{inverter}$ merupakan daya inverter setelah filter LC, P_{Load} merupakan daya beban, dan $\cos\Theta=1$ merupakan faktor daya karena menggunakan beban resistif. diatas dapat dilihat bahwa *inverter* mampu diberi beban sesuai perencanaan. Hal ini terlihat pada saat tegangan input dari baterai ($V_{baterai}$) sebesar 48V DC output daya beban sebesar 48,24W dengan tegangan output beban (V_{Load}) 201V AC yang seharusnya bernilai 220V AC dengan selisih 19V AC. Berdasarkan data tersebut terlihat filter LC masih bersifat sebagai beban sehingga terjadi drop tegangan sebesar 19V AC di beban. Untuk menentukan nilai daya input dan daya output serta efisiensi daya (η) dapat menggunakan Persamaan (7) sampai (9).

$$P_{inverter} = V_{filter} \times I_{filter} \times \cos\varphi \quad (7)$$

$$P_{load} = V_{load} \times I_{load} \times \cos\varphi \quad (8)$$

$$\eta = \frac{P_{load}}{P_{inverter}} \times 100\% \quad (9)$$

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil simulasi dapat membuktikan bahwa kontrol PI dengan metode *trial-error* pada saat nilai $K_p=2,836265$ dan nilai $K_i=1000,5331$ mampu memberikan respon output tegangan *charging* lebih baik dengan respon waktu untuk mencapai *steady state* 0,399967 detik sebesar dibandingkan metode analitik dengan respon waktu untuk mencapai *steady state* 1,13828 detik. Proses *charging* baterai sistem dapat mempertahankan nilai tegangan output (V_o) *charging* antara 54V-56,5V DC dan sistem mampu menyuplai beban sesuai perencanaan sebesar 50W walaupun terjadi selisih drop tegangan sebesar 19V AC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan rasa puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa dan tanpa menghilangkan rasa hormat yang mendalam, saya selaku penyusun dan penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan proyek akhir ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada Dosen pembimbing proyek akhir dan seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah membimbing dan membekali ilmu kepada penulis selama menempuh pendidikan di kampus Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS).

REFERENSI

- [1] S. Abdallah, *Rancang Bangun Uninterruptible Power Supply (UPS) dengan Beban PLC*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2018.
- [2] S. Utomo, *Rancang Bangun Uninterruptible Power Supply (UPS) Beban Inkubator*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2016.
- [3] S. R. Lee, S. H. Baek, C. Y. Won, “Serial multi-module UPS system control method considering battery module balancing”, Prosiding *International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, 2015

- [4] S. Singh, S. Ghatakchoudhuri, "Average current feed-forward control for multi-modular single phase UPS inverters system", Prosiding 7th International Conference on Intelligent System, Modelling and Simulation, 2016.
- [5] M. Aamir, S. Mekhilef, "Online transformerless uninterruptible power supply (UPS) system with a smaller battery bank for low power applications", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 32, 2017.
- [6] F. Pires, D. Foito, A. Cordeiro, J. F. Silva, "A single-switch DC/DC buck-boost converter with extended output voltage", 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2018
- [7] Hidayat, S. Mochamad, *Rancangan Bangun Buck Boost Converter*, Skripsi, Fakultas Teknik Program Studi Elektro Universitas Indonesia, Juni 2010.
- [8] W. Hart, *Power Electronics*, McGraw Hill, 2011
- [9] Algaddafi, K. Elnaddab, A. AlMamari, A. N. Esgiar, "Comparing the performance of bipolar and unipolar switching frequency to drive DC-AC inverter" International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 2016.
- [10] J. C. S. Rojas, D. A. B. López, D. M. B. Leguizamón, F. R. J. López, "Simulation of the model, design and control of a current source inverter with unipolar SPWM modulation", Prosiding IEEE 15th Brazilian Power Electronics Conference (COBEB) and 5th Southern Power Electronics Conference (SPEC), 2019.
- [11] Laoprom, S. Tunyasirut, W. Permpoonsinsup, D. Puangdownreong, "Voltage control with PI controller for four phase interleaved boost converter", Prosiding 16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2019.
- [12] Abdelhamid, L. Radhouane, A. Bilel, "Real time implementation of perturb and observe algorithm and PI controller for DC/DC converter", Prosiding 18th International Conference on Sciences and Technique of Automatic Control and Computer Engineering – STA, 2017