

Rancang Bangun *Automatic Transfer Switch* Pada Sistem *Charging* Baterai Berbasis Kontrol PI

M. Irfan Zaidan¹, Era Purwanto², Syechu Dwitya Nugraha³
^{1,2,3}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
 e-mail: era@pens.ac.id

Abstrak- Seiring meningkatnya kendaraan bermotor yang memerlukan bahan bakar minyak menyebabkan terbatasnya bahan bakar minyak sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Di sisi lain, banyak pencemaran udara yang terjadi di Indonesia akibat dari reaksi pembakaran bahan bakar minyak tidak sempurna yang menyebabkan adanya hasil emisi berupa gas karbon. Penggerak dari kendaraan roda tiga elektrik adalah menggunakan motor induksi 3 fasa. Metode yang umum digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor AC adalah mengubah tegangan output dari konverter dengan cara mengubah PWM dari mikrokontroler. Alat ini menggunakan mikrokontroler ARM STM32F407VG untuk *charging*, dan kontrol motor menggunakan metode PI pada *multilevel boost converter* agar nilai tegangan keluaran sesuai dengan yang diinginkan. Sistem pengaturan kecepatan motor AC menggunakan pengendali logika PI *controller*, masukan (*error* kecepatan dan *set point*) akan diproses guna mendapatkan nilai *duty cycle* sinyal PWM, nilai inilah yang digunakan sebagai acuan pembangkit PWM. *duty cycle* dari *pulse width modulation* (PWM) maksimal yang dikeluarkan adalah bernilai 46,6% sehingga nilai tegangan keluaran yang dihasilkan 537 V saat tegangan masukan 96 V.

Kata kunci: *Multilevel boost converter, PI controller, PWM, motor induksi 3 fasa*

I. PENDAHULUAN

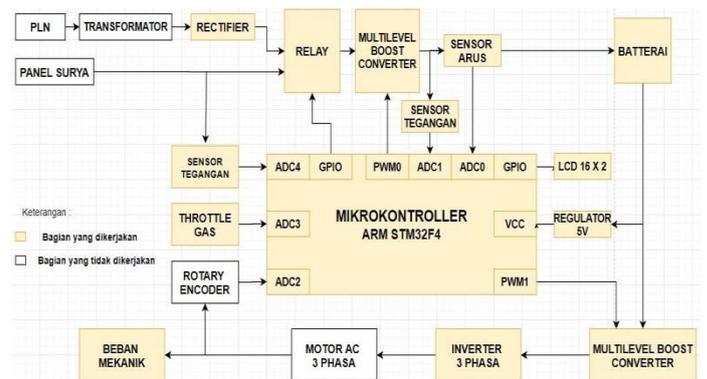
Dewasa ini banyak sekali pencemaran lingkungan terutama pencemaran udara yang terjadi di Indonesia akibat dari reaksi pembakaran bahan bakar minyak tidak sempurna yang menyebabkan adanya hasil emisi berupa gas karbon yang merupakan salah satu penyebab pencemaran udara terbesar di Indonesia. Selain itu, semakin berkembangnya zaman serta semakin meningkatnya kendaraan bermotor yang memerlukan bahan bakar minyak menyebabkan terbatasnya bahan bakar minyak sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui akan mempengaruhi keseimbangan sumber daya yang ada di Indonesia.

Dari permasalahan di atas, penggunaan energi terbarukan (*renewable energy*) sangat dibutuhkan di kehidupan mendatang. Penggunaan energi terbarukan yang bersifat tidak akan pernah habis yaitu salah satunya adalah pemanfaatan matahari. Dengan memanfaatkan keberadaan wilayah Indonesia yang melintang di sepanjang garis katulistiwa, maka Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Dengan menciptakan becak listrik dengan menggunakan panel surya, diharapkan mampu mengurangi polusi udara. Hal ini dikarenakan becak

listrik tersebut tidak menggunakan bahan bakar minyak sehingga tidak terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan gas emisi. Selain itu, dengan diciptakannya becak listrik diharapkan mampu meningkatkan penggunaan becak sebagai alat transportasi umum dan mengurangi penggunaan becak konvensional yang terkesan lambat dan kurang diminati pada saat ini. Becak listrik tersebut dilengkapi dengan panel surya yang berfungsi untuk mengkonversi energi dari alam berupa energi matahari menjadi energi listrik yang dimanfaatkan untuk menggerakkan motor tersebut.

II. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan dan pembuatan proyek akhir ini berpatokan pada blok diagram sistem serta alur kerja dari blok diagram. Berikut merupakan gambaran umum sistem yang ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Dalam membangun sistem *charging* baterai digunakan kontroler dengan metode kontrol PI agar tegangan *charging* pada baterai konstan 57,6 V [1]. Dengan sumber panel surya dan PLN yang terhubung dengan *relay* yang kemudian terhubung dengan beban baterai [2]. Output daya dari *solar cell* atau PLN dihubungkan ke *multilevel boost converter* yang akan digunakan untuk *charging* baterai dengan spesifikasi 48V / 10Ah [3]. Sumber yang berasal dari baterai tidak mampu menyuplai beban secara maksimal karena dayanya yang besar dan membutuhkan tegangan yang tinggi yaitu sebesar 537 volt. Untuk menanggulangi masalah ini di sini digunakan *multilevel boost DC to DC converter* di mana fungsinya sebagai konverter dari tegangan DC ke DC dan menaikkan nilai tegangan dari 96 V ke tegangan tinggi sebesar 537 V (tegangan maksimal motor induksi 3 fasa) [4], [5].

TABEL 1
ESTIMASI DAYA BEBAN

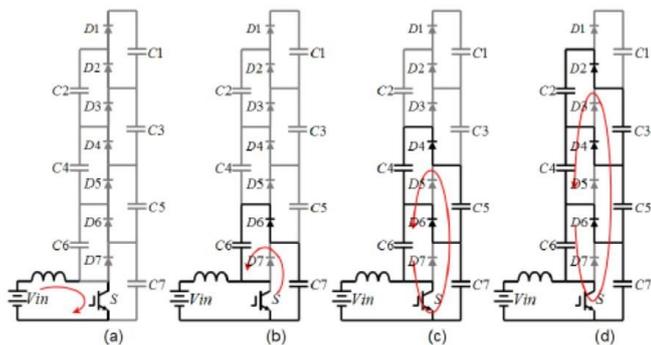
No	Beban	Daya(W)	Jumlah	Total Daya beban (W)
1	Motor induksi 3 fasa	746	1 unit	746

A. Perancangan Multilevel Boost Converter

Konverter *boost multilevel* adalah sebuah konverter DC-DC berbasis PWM yang mengkombinasikan antara konverter *boost* konvensional dan fungsi *switched capacitor* untuk menghasilkan tegangan output yang berbeda dan stabil dengan hanya menggunakan 1 *driven switch*, 1 induktor, 2N-1 dioda dan 2N-1 kapasitor [6], [7]. N yang dimaksud adalah jumlah tingkat pada konverter *boost multilevel*. Konverter ini dapat dibangun dengan beberapa cara dan levelnya dapat ditambah tanpa memodifikasi/mengubah rangkaian utama [8]. Kelebihan dari topologi ini adalah:

1. Arus inputnya kontinyu
2. Ratio konversinya besar walaupun tanpa menggunakan *duty cycle* yang besar dan tanpa menggunakan transformator tambahan.
3. Konverter dapat menggunakan frekuensi *switching* yang tinggi.

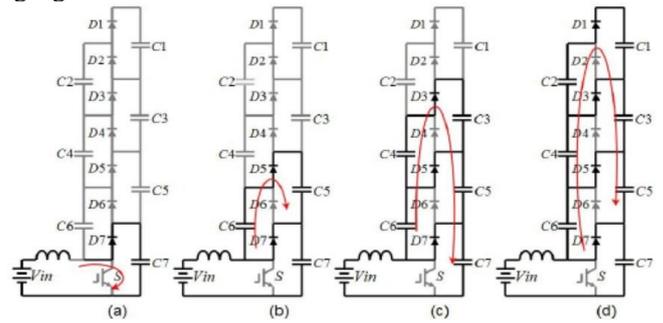
Keadaan pada saat *switch on* ditunjukkan pada Gambar 2. Saat *switch* dalam keadaan *on*, induktor akan terhubung ke tegangan input (V_{in}), (Gambar 2 (a)). Jika tegangan di C6 lebih kecil dari tegangan di C7, maka C7 menjepit tegangan di C6 melalui D6 dan S (Gambar 2 (b)). Bersamaan dengan itu, jika besar nilai tegangan C4 + C6 lebih kecil dari tegangan C5 + C7, maka C5 dan C7 menjepit tegangan di C4 dan C6 melalui D4 dan S (Gambar 2 (c)). Dengan cara yang sama, C3, C5 dan C7 menjepit tegangan di C2, C4 dan C6 (Gambar 2 (d)) [9].



Gambar 2. *Switch* dalam keadaan *on*

Keadaan pada saat *switch off* ditunjukkan pada Gambar 3. Ketika *switch off*, arus induktor menyalakan D7 dan itu mengakibatkan semua dioda menyala. Selama keadaan *off*, arus induktor menyalakan D7 untuk men-charge C7 (Gambar 3 (a)). Ketika D7 menutup/menyala, C6 dan tegangan input (V_{in}) dan tegangan induktor menjepit tegangan di C5 dan C7 melalui D5 (Gambar 3 (b)). Dengan cara yang sama, tegangan induktor ditambah tegangan input (V_{in}), C4 dan C6 menjepit tegangan di C3, C5 dan C7 melalui D3 (Gambar 3 (c)). Lambat laun

tegangan di C1, C3, C5 dan C7 dijepit oleh C2, C4, C6, V_{in} dan tegangan induktor.



Gambar 3. *Switch* dalam keadaan *off*

TABEL 2
PARAMETER MULTILEVEL BOOST CONVERTER UNTUK CHARGE

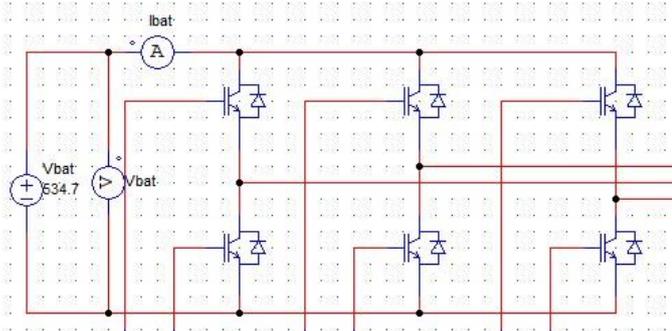
Parameter	Nilai
Tingkatan <i>Multilevel Boost Converter</i> (N)	3
Tegangan <i>input</i> (V_s)	12-21 V
Tegangan <i>output</i> (V_o)	57,6V
Frekuensi <i>switching</i> PWM (f)	40kHz
<i>Ripple</i> arus (ΔI_L)	30% A
<i>Ripple</i> tegangan (ΔV_o)	0,0576 V (0,1% dari 57,6 V)
Induktor (L)	310 μ H
Kapasitor (C)	490 μ F

TABEL 3
PARAMETER MULTILEVEL BOOST CONVERTER UNTUK KONTROL MOTOR

Parameter	Nilai
Tingkatan <i>Multilevel Boost Converter</i> (N)	3
Tegangan <i>input</i> (V_s)	96 V
Tegangan <i>output</i> (V_o)	537,4 V
Frekuensi <i>switching</i> PWM (f)	40kHz
<i>Ripple</i> arus (ΔI_L)	30% A
<i>Ripple</i> tegangan (ΔV_o)	0,5374 V (0,1% dari 537,4 V)
Induktor (L)	1,26 mH
Kapasitor (C)	90 μ F

B. Perancangan Inverter Tiga Fasa

Gambar 4 merupakan rangkaian *inverter full – bridge* 3 fasa yang membutuhkan 6 buah piranti *switching* (IGBT) yang berkerja secara berpasangan dan bekerja (*on-off*) secara bergantian. *Inverter* ini didesain untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 380 Vac dengan frekuensi ± 50 Hz dan arus maksimum 15 A. Komponen *switching* yang berupa IGBT yang telah diatur siklus kerjanya menggunakan *driver* IR2111.



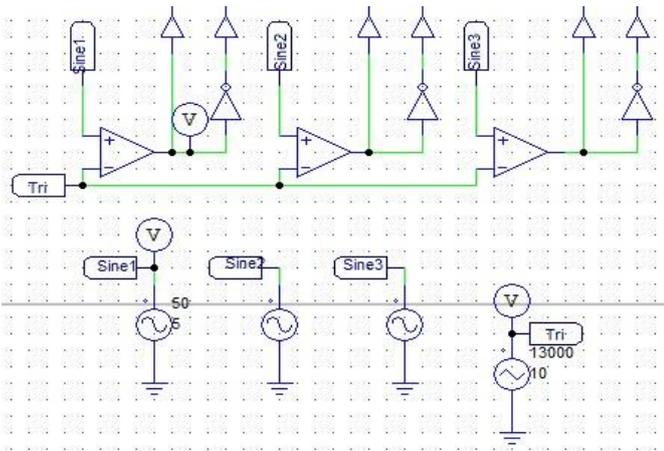
Gambar 4. Rangkaian full-bridge inverter 3 fasa

Untuk mengetahui rasio modulasi amplitudo dari pembangkitan SPWM dapat dihitung dengan persamaan:

$$Ma = \frac{Ac}{Am} \tag{1}$$

$$Mf = \frac{fc}{fm} \tag{2}$$

Persamaan 1 dan persamaan 2 akan dimasukkan dalam nilai *switching* pada simulasi PSIM sebagai acuan nilai. Gambar 5 merupakan rangkaian simulasi dari metode *switching inverter full-bridge* 3 fasa menggunakan SPWM tipe *unipolar*.



Gambar 5. Simulasi rangkaian SPWM unipolar

Frekuensi *sinusoidal* pada simulasi ini sebesar 50 Hz dan menjadi frekuensi output dari *inverter*. Frekuensi pencuplikan sebesar 5 KHz. Semakin besar nilai frekuensi segitiga maka semakin banyak sinyal yang dicuplik, yang akan meningkatkan kualitas gelombang sinusoidal.

Jika *inverter* (tanpa kontrol umpan balik) dan memungkinkan untuk menyalakan mesin induksi dari baterai atau sumber DC lainnya; kecepatan variabel juga menjadi mungkin hanya dengan mengatur frekuensi *inverter*. Meski begitu, performa torsiya rendah dibandingkan dengan motor DC. Tambahkan beberapa putaran umpan balik sehingga *inverter* menghasilkan frekuensi yang tepat yang "diinginkan" motor, dan motor induksi sekarang mampu bersaing dengan DC dan DC *brushless* untuk aplikasi kendaraan. Dan disini lain

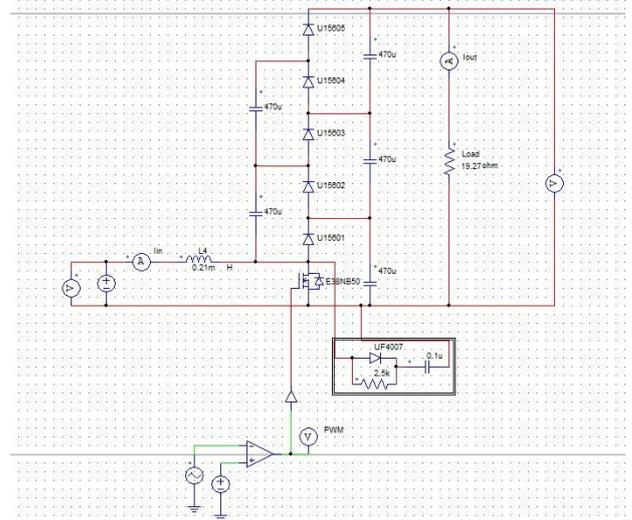
konstruksi motor DC yang besar dibandingkan motor Induksi 3 Fasa.

TABEL 4
PARAMETER INVERTER TIGA FASA

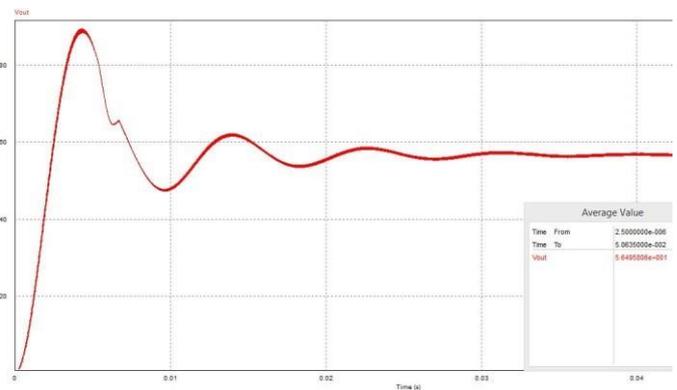
Parameter	Nilai
Tegangan input <i>inverter</i> ($V_{Baterai}$) DC	534,7V
Frekuensi <i>switching</i> SPWM (f)	13kHz
Tegangan output <i>inverter</i> ($V_{Inverter}$) AC	380V

C. Perancangan Kontrol PI (Proportional-Integral)

Kontrol tegangan output *charging* baterai menggunakan kontrol PI menggunakan dua metode, yaitu metode analitik di mana 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 [10]. Untuk mendapatkan nilai tersebut harus dilakukan simulasi untuk menilai karakteristik tegangan keluaran konverter yang digunakan. Karakteristik simulasi *multilevel boost converter* menggunakan simulator PSIM dapat ditunjukkan pada Gambar 6 dan output karakteristik tegangan *multilevel boost converter* dapat ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Simulasi rangkaian multilevel boost converter dengan simulator PSIM



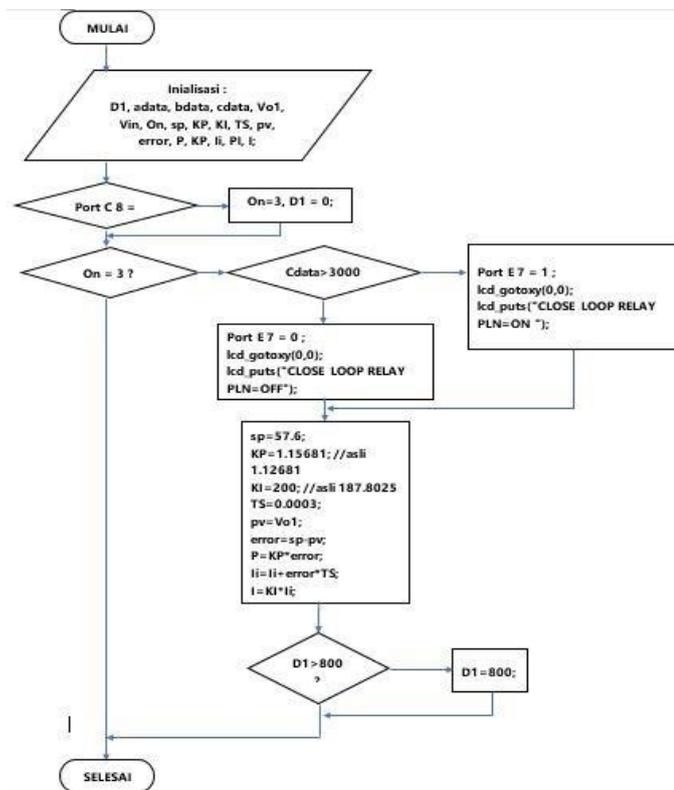
Gambar 7. Karakteristik tegangan output rangkaian multilevel boost converter dengan simulator PSIM

Berdasarkan [Gambar 7](#), untuk menentukan nilai Kp dan Ki dapat diperoleh data pada [Tabel 5](#) sebagai berikut:

TABEL 5
PARAMETER KONTROL PI

Parameter	Nilai
Tegangan maksimum ($V_{overshot}$)	91,4V
Tegangan setpoint ($V_{setpoint}$)	57,6V
Time settling (ts)	0,03 detik
Konstanta proporsional (Kp)	1,12681
Konstanta integral (Ki)	187,8025

Flowchart dari Kontrol PI yang diaplikasikan pada sistem charging baterai dilihat pada [Gambar 8](#).

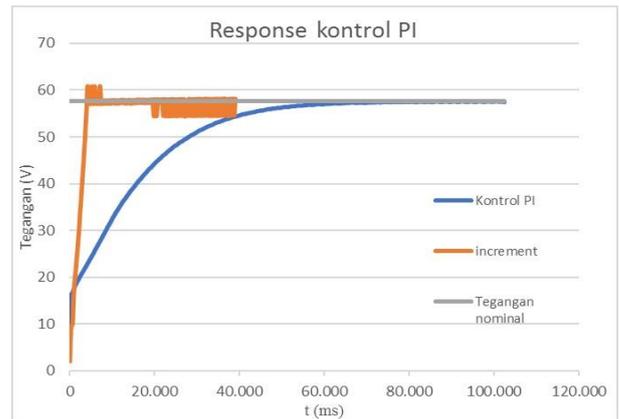


Gambar 8. Flowchart metode kontrol PI

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Kontrol PI Multilevel Boost Converter Charging

Pada pengujian sistem close loop digunakannya metode PI untuk menstabilkan tegangan output pada *multilevel boost converter*. Untuk melihat performa PI yang digunakan diperlukan pengujian dengan *data logger* untuk melihat respon PI pada saat transien serta saat PI terjadi gangguan. *Tuning* PI yang digunakan saat pengujian adalah $KP=1,12681$, $KI=187,8025$. Berikut adalah grafik hasil pengujian performa PI dapat dilihat pada [Gambar 9](#).

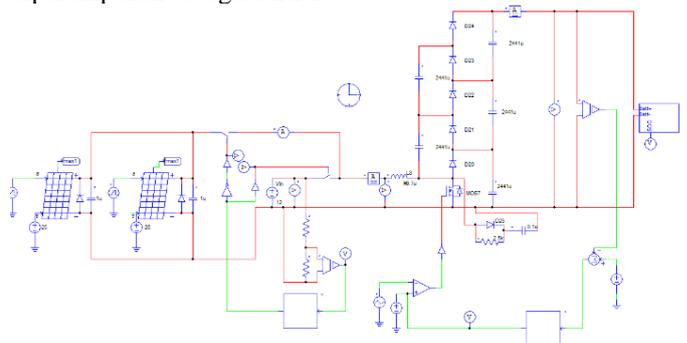


Gambar 9. Respon pengujian dengan menggunakan kontrol PI dan metode *increment decrement* sebagai pembandingan

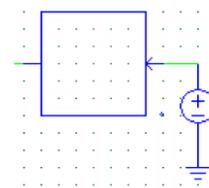
Setelah dilakukannya pengujian performa PI dapat dilihat bahwa metode PI yang digunakan dapat mencapai kondisi *steady state* yang stabil dan terlihat bahwa pengaturan *duty cycle* PWM menggunakan kontrol PI dapat mengurangi *overshoot* tegangan charging. Dalam pengujian ini juga dibandingkan nya kontrol PI dengan metode *increment decrement*, dapat dilihat bahwa dengan kontrol PI lebih stabil daripada menggunakan metode *increment decrement* dikarenakan pada metode *increment decrement* terdapat osilasi.

B. Simulasi Multilevel Boost Converter Dan Automatic Transfer Switch Untuk Charging Baterai Dengan Control PI.

Panel surya akan dipasang di roda tiga elektrik agar pada saat kendaraan dipakai baterai akan mengalami *charge* dan *discharge*. Sumber bisa berasal dari panel surya atau *power supply* sebesar 12 V dan *output* dari *multilevel boost converter* sebesar 57,6 V dengan beban aki untuk peng-charge-an, simulasi diatas menggunakan *simplified C block* yang diperumpukan sebagai ARM.

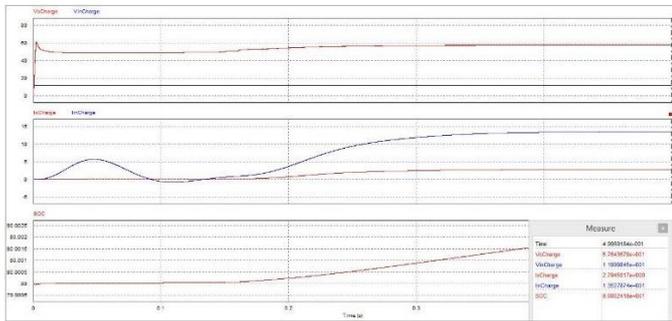


Gambar 10. Simulasi rangkaian charging close loop



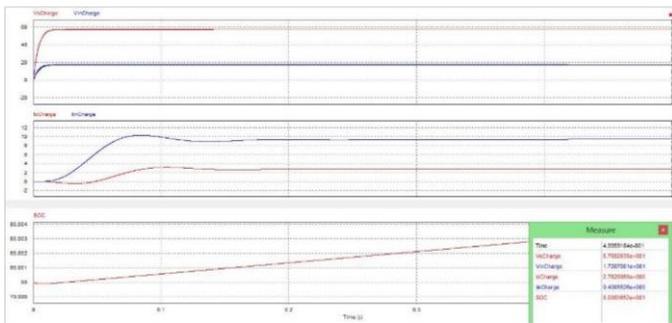
Gambar 11. Simplified C block sebagai ARM

Berdasarkan simulasi rangkaian *charging* pada [Gambar 10](#). [Gambar 12](#) adalah hasil simulasi pembacaan sensor arus pada saat proses *charging*.



Gambar 12. Hasil simulasi pembacaan sensor arus, tegangan dan SOC pada saat proses *charging*.

Berdasarkan gambar di atas yang merupakan hasil pembacaan sensor arus dan tegangan saat proses *charging*, terlihat besarnya nilai arus *charging* hasil simulasi sebesar 2,79A. Pada saat discharge, nilai tegangan pada output *multilevel boost converter charge* sebesar 57,6 V DC dan terlihat SOC baterai mengalami kenaikan. Dalam menentukan keandalan simulasi sistem pada *close loop charging* baterai maka pada pengujian simulasi ini akan dilakukan nilai iradiasi solar panel sebesar 1000 Wb/m².

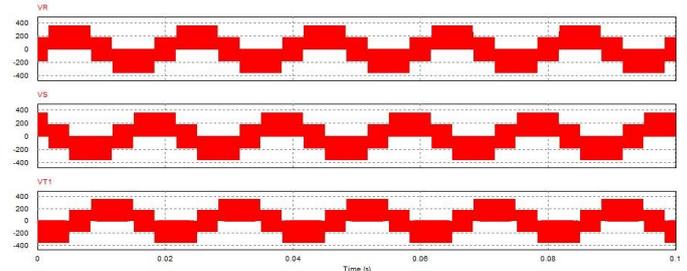


Gambar 13. Iradiasi 1000Wb/m² dengan kenaikan SOC

Pada [Gambar 13](#) merupakan respon tegangan output dengan sumber panel surya 200 Wp. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa sistem dapat mempertahankan tegangan output 57,6 V dan SOC mengalami kenaikan yang artinya baterai 48 V 10Ah mengalami pengisian atau *charge*.

C. Simulasi Inverter Tiga Fasa

Pada simulasi *inverter* tiga fasa menggunakan *switching* SPWM untuk sistem pensaklaran pada IGBT yang digunakan. SPWM yang digunakan berjenis *unipolar* SPWM. Berdasarkan data parameter *inverter* tiga fasa pada [Tabel 4](#), bentuk gelombang tegangan output *inverter* ($V_{inverter}$) dengan teknik *switching* SPWM *unipolar* dapat dilihat pada [Gambar 5](#). Pada [Gambar 14](#) terlihat bahwa tiap fasa memiliki perbedaan sudut 120 derajat dan bentuk gelombang *output* masih jauh dari bentuk gelombang sinus dengan THD (*total harmonic distortion*) tinggi dengan efisiensi yang rendah. Untuk mengatasi hal tersebut dipasang filter LC untuk mengurangi harmonisa sehingga bentuk gelombang output dapat mendekati bentuk sinusoida.



Gambar 14. Output tegangan *inverter* ($V_{inverter}$) dengan teknik *switching* SPWM *unipolar*

D. Pengujian Multilevel Boost Converter

Pengujian *multilevel boost converter* digunakan untuk mengetahui respon konverter terhadap perubahan *duty cycle* inputnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan hasil *output* dengan perhitungan secara teoritis. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan tegangan di *drain* MOSFET sebagai sumber dan penyulutan PWM pada *gate* MOSFET. Kemudian dihasilkan tegangan keluaran yang mendekati dengan tegangan yang diinginkan. Dapat dilihat hasil percobaan pada [Tabel 6](#) dan [Tabel 7](#) berikut ini adalah hasil pengujian *multilevel boost converter* menggunakan PWM.

TABEL 6

DATA PENGUJIAN NILAI MULTILEVEL BOOST CONVERTER UNTUK CHARGING

Vs	Vo	Vo Teori	Io	Duty cycle	lin	Effisiensi	%error
12	69.9	51.4285714	0.23	30	1.61	83.21428571	-35.91666667
12	60	49.6551724	0.2	27.5	1.22	81.96721311	-20.83333333
12	52.5	48	0.18	25	0.98	80.35714286	-9.375
12	45	46.4516129	0.16	22.5	0.764	78.53403141	3.125
12	39.4	45	0.15	20	0.655	75.19083969	12.44444444
12	35	43.6363636	0.14	17.5	0.51	80.06535948	19.79166667
12	29.8	42.3529412	0.137	15	0.435	78.21072797	29.63888889
12	25.2	41.1428571	0.129	12.5	0.356	76.09550562	38.75
12	22	40	0.12	10	0.293	75.08532423	45
NOMINAL							
12	57.5	49.1132333	0.2	26.7	1.19	80.53221289	-17.07638889

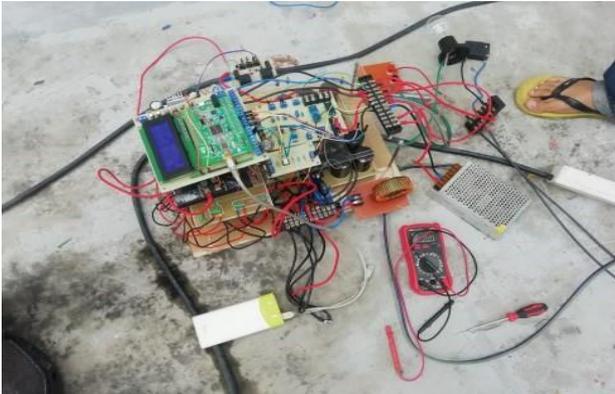
TABEL 7

DATA PENGUJIAN NILAI MULTILEVEL BOOST CONVERTER UNTUK KONTROL

Vs	Vo	Vo Teori	Io	DC	lin	Effisiensi	%error
10	52.5	55.97014925	0.125	46.4	0.79	83.06962025	6.2
20	109.8	111.9402985	0.16	46.4	1	87.84	1.912
30	165.5	167.9104478	0.2	46.4	1.3	84.87179487	1.435555556
40	223	223.880597	0.225	46.4	1.5	83.625	0.393333333
50	277	279.8507463	0.25	46.4	1.7	81.47058824	1.018666667
60	350	335.8208955	0.29	46.4	1.98	85.43771044	4.222222222
70	388	391.7910448	0.3	46.4	2.19	75.9295499	0.967619048

Dari [Tabel 6](#) dan [Tabel 7](#) di atas dapat dilihat bahwa konverter sudah bisa berjalan dengan baik untuk menaikkan tegangan input berdasarkan besar *switching duty cycle* nya. Konverter ini juga memiliki efisiensi yang cukup bagus yaitu rata-rata 80%. Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa *multilevel boost converter* ini memiliki perbedaan *error* antara teori dan praktek yang cukup besar yang disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, pada tabel pengujian dapat dilihat semakin kecil *duty cycle* maka semakin besar *error* yang dihasilkan. Kedua, pada *multilevel boost converter* ini tidak dilengkapi dengan *heatsink* sehingga IGBT dan Dioda menjadi panas.

Ketiga, pada nilai komponen yang dipakai tidak sesuai dengan nilai yang didesain pada *multilevel boost converter*. [Gambar 15](#) menunjukkan proses pengujian *multilevel boost converter*.



Gambar 15. Pengujian *multilevel boost converter*

IV. KESIMPULAN

Data hasil simulasi dan hasil pengujian dapat membuktikan bahwa kontrol PI pada saat nilai $K_P=1,12681$ dan $K_I=187,8025$ mampu memberikan respon output tegangan *charging* yang relatif konstan 57,6 V, dan hanya memiliki *error* yang sangat sedikit yakni 0,17%. Sedangkan pada metode *increment decrement* terdapat osilasi pada respon *output* tegangan. Hal ini akan mengakibatkan tegangan yang tidak konstan 57,6 V. Hal ini terbukti pada [Gambar 9](#) bahwa metode *increment decrement* tidak konstan 57,6 V dan memiliki *error* 4,5%.

REFERENSI

- [1] F.Johan, *Continuous UPS pada Beban Komputer*, Proyek akhir, Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2012.
- [2] M. A. O. Eko, *Supply Hybrid Sebagai Sumber Energi Listrik pada Alat Pembersih Kacang Hijau*, Tugas akhir, Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2016.
- [3] Y. Lexi, *Rancang Bangun UPS untuk Beban 900VA berbasis Mikrokontroler*, Proyek akhir, Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2011.
- [4] R.Muhammad H., *Power Electronics Circuits Devices and Applications*, New Jersey: Prentice-Hall International, 1988.
- [5] M. Sailaja, M. Spandana, *Study of a DC-DC Converter with Large Step Down Voltage Conversion*, Hyderabad: Malla Reddy Institute of Engineering & Technology. India, 2015.
- [6] P. Y. Hidayat, *Rancang Bangun Sistem Backup PLN menggunakan Boost Converter dan flyback Converter berbasis Mikrocontroller untuk Beban Penerangan*, Proyek akhir, Teknik Elektro Industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2013.
- [7] M. Z.Efendi Ir MT, *DC-DC Converter*, EEPIS-ITS, 2009.
- [8] A. Z. Fanani, M. Ashari, T. Yuwono, "Desain dan simulasi konverter boost multilevel sebagai catu daya kendaraan listrik," *Jurnal Teknik POMITS.*, vol. 3, no 1, 2014.
- [9] P. Visnuvardhan, K. Vivek, C. Pradeep, T. K. Mohan, "A multiboost and full bridge converter for power management for hybrid vehicle by battery and super capacitors," *American Journal of Engineering Research* 3 (5), 2014.
- [10] S. B. Yudho, H. Hikmarika, S. Dwijayanti, Purwanto, "Aplikasi perbandingan pengendali P, PI, dan PID pada proses pengendalian suhu dalam sistem mini boiler," *Jurnal Amplifier.*, vol. 3, no. 2, November 2013.