Rancang Bangun Solar Charger dengan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dan Kontrol Proportional Integral Derivative (PID) Untuk Pengisian Baterai Lithium-Ion

Novie Ayub Windarko¹, Irianto², Agus Tami³

Teknik Elektro Industri, Departemen Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya¹

Teknik Elektro Industri, Departemen Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya²

Teknik Elektro Industri, Departemen Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya³

ayub@pens.ac.id¹, irianto@pens.ac.id², *agus.tami.0004@gmail.com³

ABSTRACT

Solar charger is a tool to charge battery energy by using solar panel. Generally, the process of battery charging using solar charger still uses the Constant Current-Constant Voltage method. The application of Constant Current-Constant Voltage method on solar charger has a flaw on Constant Current mode, when the solar panels is not able to reach the specified current, then a voltage drop will occur so that there is no charging on the battery. The problem faced by using solar charger is the fluctuating output of solar panels is influenced by several parameters, those are temperature, light intensity, and the given load. As of that a control is needed which can track so that the solar panel output can be maximized for battery charging. In this research, by using buck converter as solar charger and MPPT modified incremental conductance as the method in order to search the maximum output power of the solar panel and PID analytical method is used to produce constant output voltage of converter for Li-Ion battery charging. Based on maximum tracking of MPPT modified incremental conductance method at 1000W/m² Irradiance with a duty cycle of 70% produces 99.53W of maximum power output of buck converter, 12.52V of output voltage of buck converter and 7.95A current. PID Control with parameter values such as $K_P = 7.8$ $K_I = 50000$, and $K_D = 0.000304$ is used to get constant output voltage of 12.6 V of buck converter.

Keywords: Li-Ion Battery, Buck Converter, MPPT Modified Incremental Conductance Method, Analytical PID, Solar Charger

INTISARI

Solar charger merupakan alat untuk mengisi energi baterai dengan memanfaatkan panel surya. Pada umumnya, proses pengisian baterai dengan solar charger masih menggunakan metode Constant Current-Constant Voltage. Penerapan metode Constant Current-Constant Voltage pada solar charger memiliki kelemahan yaitu pada mode Constant Current, Saat panel surya tidak mampu mencapai arus yang ditentukan maka akan terjadi drop tegangan sehingga tidak terjadi pengisian pada baterai. Permasalahan yang dihadapi dari penggunaan solar charger adalah keluaran panel surya yang fluktuatif dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu suhu, intensitas cahaya dan pembebanan yang diberikan. Sehingga diperlukan sebuah kontrol yang dapat tracking agar keluaran panel surya dapat dimaksimalkan untuk melakukan pengisian baterai. Pada penelitian ini memanfaatkan buck converter sebagai solar charger serta metode yang digunakan yaitu MPPT modified incremental conductance bertujuan untuk mencari daya maksimum keluaran panel surya dan PID metode analitik untuk menghasilkan tegangan keluaran konverter yang konstan untuk pengisian baterai Li-Ion. Dari hasil tracking maksimum MPPT metode modified incremental conductance pada iradiasi 1000W/m² dengan duty cycle 70% menghasilkan keluaran daya maksimum buck converter 99,53W serta tegangan keluaran buck converter 12,52V dan arus 7,95A. Kontrol PID dengan nilai parameter $K_P=7,8$, $K_I=50000$, dan $K_D=0,000304$ digunakan untuk mendapatkan tegangan keluaran buck converter konstan sebesar 12,6V.

Kata kunci: Baterai Li-Ion, Buck Converter, MPPT Metode Modified Incremental Conductance, PID Analitik, Solar Charger

I. PENDAHULUAN

Solar charger merupakan alat pengisian baterai sampai pada rating tegangan yang ditentukan dengan

menggunakan sumber panel surya. Pada umumnya penggunaan baterai yang umum digunakan saat ini adalah untuk kendaraan bermotor.

Selama ini pengisian baterai masih menggunakan sumber dari jala-jala PLN. Namun dikarenakan perkembangan energi alternatif yang cukup pesat, sehingga dapat dilakukan pemanfaatan energi alternatif sebagai pengisian pada baterai yaitu energi dari tenaga surya. Energi ini merupakan salah satu alternatif yang baik untuk masa kini dan masa yang akan mendatang. Dimana alat yang digunakan untuk mengkonversikan energi surya atau cahaya menjadi energi listrik adalah panel surya[8].

Pemanfaatan solar panel sebagai pembangkitan energi listrik masih memerlukan sebuah konverter. Hal ini dikarenakan hasil *output* dari panel surya masih fluktuatif. Dengan adanya konverter tipe *buck converter*, bertujuan sebagai penurun level tegangan sumber (*input*) dan juga ditambahkan kontrol *MPPT* metode *modified incremental conductance* agar hasil *output* konverter dapat memaksimalkan *input* konverter keluaran panel surya serta sebuah kontrol PID yang mengkonstantkan tegangan *output* konverter sebesar tegangan maksimum chargig baterai sesuai *rating* sehingga dapat digunakan untuk melakukan pengisian sebuah penyimpan energi yang selanjutnya dapat digunakan sebagai *supply* energi listrik pada kehidupan sehari hari.

Sehingga pada penelitian ini dibuat sebuah sistem dengan memanfaatkan energi hasil panel surya yang kemudian energi tersebut disimpan pada sebuah *storage* tegangan dan arusnya dimaksimalkan terlebih dahulu oleh sebuah konverter bertipe *buck* penurun tegangan memanfaatkan perpaduan *MPPT* dan kontrol PID.

II. LANDASAN TEORI

A. Buck Converter

Buck Converter adalah salah satu tipe *Converter* DC ke DC yang menghasilkan tegangan *output* yang nilainya lebih kecil dari tegangan *input*.

Gambar 1. Rangkaian Buck Converter

Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa rangkaian terdiri atas satu saklar aktif berupa *switching* dan juga

terdapat saklar pasif (dioda), dan induktor serta kapasitor adalah sebuah pembatas keluarannya. Penggunaan dioda sebagai saklar pasif dapat digunakan sebuah saklar aktif sehingga adanya susut daya bisa dikurangi[1].

B. Baterai Li-Ion

Baterai *Lithium-ion* merupakan salah satu jenis baterai *rechargeable* yang digunakan pada berbagai peralatan elektronik terutama yang berjenis *portable*[7].

Gambar 2. Karakteristik Pengisian Baterai Li-Ion

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa prinsip kerja dari CC-CV yaitu mula mula arus pengisian ditahan konstan, dan lama kelamaan akan berefek pada tegangan sel baterai yang semakin naik. Saat tegangan pengisian sudah mencapai tegangan maksimum pengisian sesuai *rating* pada *data sheet* maka tegangan akan dikonstantkan sebesar tegangan pengisian tersebut. Dengan tujuan agar tidak merusak daripada sel baterai dan konstantnya tegangan yang diberikan maka baterai akan terisi sehingga akan terjadi penurunan pada nilai arus pengisiannya dikarenakan semakin sedikitnya selisih antara tegangan sumber pengisian dan baterai. Baterai dikatakan penuh saat tegangan pengisian sudah mencapai tegangan maksimum baterai dan arus pengisian nol[2].

C. MPPT

MPPT adalah sebuah program dimana pengaplikasiannya untuk mendapatkan tegangan dan arus maksimum dari sebuah panel surya sehingga daya keluaran dari panel surya agar *loosis* daya yang terjadi yakni hilang susut daya yang terjadi.

Gambar 3. MPPT Incremental Conductance

Dalam Gambar 3, untuk mencapai MPPT sebuah panel surya yaitu tidak adanya perubahan nilai arus dan tegangan pada sistem dan juga bisa ditandai dengan perbandingan besarnya perubahan arus dibagi perubahan tegangan akan sama dengan nilai perbandingan arus dan tegangannya[4].

D. PID

Kontrol PID merupakan kontroler berumpan balik yang terdiri atas kombinasi kontrol P, kontrol I, dan kontrol D yang memiliki tujuan mengontrol hasil output, mempercepat reaksi kontrol, menghilangkan offset serta menghasilkan perubahan pada kondisi awal yang cukup besar yang ditampilkan dalam blok diagram pada Gambar 4[6].

Gambar 4. Blok Diagram PID Analog

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat perencanaan sistem yaitu pembuatan blok diagram sistem. Blok diagram sistem digambarkan seperti pada Gambar 5.

Gambar 5. Blok Diagram Sistem

Pada penelitian ini menggunakan sebuah PV dengan daya *max* sebesar 100 Wp. Tegangan keluaran PV yang masih fluktuatif dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya dan suhu lingkungan, maka diperlukan DC-DC konverter untuk menstabilkan tegangan output PV dengan bantuan kontrol. Pada penelitian ini digunakan konverter jenis buck dan kontrolnya menggunakan PWM berjenis MPPT dengan metode *modified incremental conductance* dan kontrol PID analitik. Baterai Li-Ion digunakan sebagai penyimpanan energi dari PV yang telah melewati konverter dengan tegangan nominal 10,8V. Sebagai media interface digunakanlah LCD 20x4 serta STM32F4 sebagai mikrokontrolernya. Pada penelitian ini juga dilakukan perencanaan baik hardware maupun kontrol.

A. Perencanaan Photovoltaic

Dalam penelitian ini akan digunakan 1 buah photovoltaic SUN ASIA 100 WP. Dengan spesifikasi pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Spesifikasi Photovoltaic

Karakteristik	Nilai
Maximum Power (Pmax)	100 W
Power Tolerance	+3 %
Maximum Power Voltage (Vmp)	17.80 V
Maximum Power Current (Imp)	5.62 A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.80 V
Short Circuit Current (Isc)	6.05 A

B. Perencanaan Buck Converter

Jenis konverter yang digunakan pada penelitian ini adalah buck converter dengan perencanaan sesuai parameter[1].

Parameter :

$V_{in\ min} = 13V; V_{in\ max} = 21V; V_o = 12,6V; I_o = 8A; F = 40kHz; \Delta iL = 20\% \times iL; rVo = 0,5\% \times V_o$

Desain :

1. Duty Cycle

$$D = \frac{V_o}{V_s} = \frac{12,6}{21} = 0,6 \quad (1)$$

2. Resistor

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{12,6}{8} = 1,575\Omega \quad (2)$$

3. Nilai Induktor

$$I_L = I_o = 8A$$

$$\Delta iL = 20\% \times iL = 0,2 \times 8 = 1,6A \quad (3)$$

$$L = \frac{V_o(1-D)}{\Delta iL \times f} \quad (4)$$

$$L = \frac{12,6 \times (1-0,6)}{1,6 \times 40000}$$

$$L = 0,00007875H = 78,75\mu H$$

4. Nilai Capacitor

$$r = 0,5\%$$

$$C = \frac{(1-D)}{8 \times L \times r \times f^2} \quad (5)$$

$$= \frac{(1-0,6)}{8 \times 78,75 \times 10^{-6} \times 0,005 \times 40000^2}$$

$$= 79,36\mu F$$

$$= 80\mu F$$

C. Perencanaan Baterai

Dalam perencanaan ini jenis baterai yang digunakan adalah *Li-Ion* dengan nomor model *Samsung SDI-INR18650-35E* [2]. Dengan spesifikasi pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Baterai

Item	Spesifikasi
Kapasitas	3350 mAh
Tegangan Charging	4,2 V
Tegangan Nominal	3,6 V
Metode Charging	CC-CV
Arus Charging	1 A – 1,7 A
Waktu Charging	4 Jam
Arus Charging Maksimum	2 A
Arus Discharge Maksimum	8 A
Tegangan Cut-Off Discharge	2,65 V

Dari Tabel 2, mengenai baterai akan dirakit dengan konfigurasi 3 seri dan 4 paralel (3S4P) dimana nantinya baterai memiliki kapasitas 13,4Ah. Dari data tersebut, maka tegangan keluaran konverter maksimum yang dapat diberikan pada baterai adalah sebesar 12,6V dikarenakan pada percobaan kali ini digunakan konfigurasi baterai 3 seri sehingga tegangan maksimum pengisian adalah sebesar 12,6V (4,2 x 3 cell) dengan dibantu oleh modul *BMS* agar pengisian dapat seimbang setiap cell nya.

D. Perencanaan Kontrol PID

Pada penelitian ini digunakan PID dengan perhitungan K_p , K_i dan K_d nya menggunakan metode analitik. Yang mula mula diambil grafik respon buck konverter dimana masih terdapat *overshoot* pada sistem seperti yang terlihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Gelombang Respon Buck Converter

Diketahui :

$$- ts = 10^{-3} s$$

$$- tp = 2,63 \times 10^{-4} s$$

$$- V_p = 17,01V$$

$$- Set Point = 12,6V$$

$$- Steady Response = 12,6V$$

$$* K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} = \frac{12,6}{12,6} = 1 \quad (6)$$

$$* \tau = \frac{1}{5} \times ts = \frac{1}{5} \times 10^{-2} = 0,2 \times 10^{-3} s \quad (7)$$

$$* \alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{0,2 \times 10^{-3}} = 5000 / s \quad (8)$$

$$* \omega d = \frac{\pi}{tp} = \frac{3,14}{2,63 \times 10^{-3}} \quad (9)$$

$$= 11939,16 rad / sec$$

$$* \omega d = \omega n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (10)$$

$$1193,16 = \frac{5000}{\xi} \sqrt{1 - \xi^2}$$

$$142543541,51 = \frac{25000000}{\xi^2} (1 - \xi^2)$$

$$142543541,51 \xi^2 = 25000000 - 25000000 \xi^2$$

$$167543541,51 \xi^2 = 25000000$$

$$\xi^2 = 0,15$$

$$\xi = 0,39$$

$$* \omega n = \frac{\alpha}{\xi} = \frac{5000}{0,39} = 12820,51 \quad (11)$$

Sehingga OLTf :

$$\begin{aligned} * \frac{C(S)}{u(S)} &= \frac{k \omega n^2}{S^2 + 2\xi \omega n S + \omega n^2} \quad (12) \\ &= \frac{1 \chi 12820,51^2}{S^2 + 2 \chi 0,39 \chi 12820,51 S + 12820,51^2} \\ &= \frac{164365476,66}{S^2 + 10000S + 164365476,66} \end{aligned}$$

Perhitungan Kp, Ki, dan Kd

$$* \tau i = \frac{2\xi}{\omega n} = \frac{2 \chi 0,39}{12820,51} = 6,08 \times 10^{-5} s \quad (13)$$

$$\begin{aligned} * \tau d &= \frac{1}{\tau i \chi \omega n^2} \quad (14) \\ &= \frac{1}{6,08 \times 10^{-5} \chi 12820,51} = 10^{-4} s \end{aligned}$$

Saat dipercepat (10x):

$$* ts = 10^{-3} s$$

$$* ts = 10^{-4} s$$

$$* \tau^* = \frac{1}{5} ts^* = 0,2 \times 10^{-4} s \quad (15)$$

$$* KP = \frac{\tau i}{k \tau^*} = \frac{6,08 \times 10^{-5}}{0,2 \times 10^{-4}} = 3,04 \quad (16)$$

$$* KI = \frac{KP}{\tau i} = \frac{3,04}{6,08 \times 10^{-5}} = 50000 \quad (17)$$

$$* KD = KP \times \tau d = 3,04 \times 10^{-4} \quad (18)$$

Berikut adalah gelombang setelah diberikan kontrol PID :

Gambar 7. Gelombang Respon Buck Converter Setelah PID

Dari Gambar 7 dapat diketahui bahwa kontrol PID dapat menghilangkan *overshoot* yang terjadi sehingga hingga menuju *steady state* tanpa terjadi *overshoot*. Untuk mempercepat waktu *steady state* maka dilakukan juga *tuning* pada PID dengan nilai yang didapat sebagai berikut :

$$* KP = 7,8$$

$$* KI = 50000$$

$$* KD = 0,000304$$

Gambar 8. Gelombang Respon Buck Converter Setelah Tuning PID

Dari Gambar 8 diketahui *tuning* PID akan berimbas pada semakin cepatnya respon *steady state* yang didapat. Dimana pada sebelum di *tuning* memiliki respon *steady state* sebesar 0,6ms setelah di *tuning* respon yang didapat yaitu semakin cepat menjadi 0,16ms.

E. Perencanaan MPPT

MPPT yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *modified incremental conductance* yang berguna sebagai *tracking* sehingga panel surya dapat mengeluarkan daya maksimum yang dimiliki[4]. Alasan digunakannya metode tersebut yaitu dengan metode tersebut memiliki proses deteksi *tracking* sangat detail sehingga osilasi daya yang dikeluarkan oleh panel surya akan kecil atau bisa dikatakan lebih teliti. *Flowchart* algoritma MPPT

metode *modified incremental conductance* adalah sebagai berikut :

Gambar 9. Algoritma MPPT Metode Modified Incremental Conductance

Dari Gambar 9, didapati bahwa panel surya telah mencapai daya maksimumnya saat tidak adanya perubahan nilai arus yang terjadi dan nilai perbandingan antara perubahan arus terhadap perubahan tegangannya sama dengan nilai perbandingan antara arus terhadap tegangannya.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Didalam hasil dan pembahasan ini memiliki beberapa pengujian sebagai berikut:

A. Pengujian Karakteristik PV

Gambar 10. Dokumentasi Pengujian Karakteristik PV

Seperti Gambar 10, Pengujian PV dilakukan untuk mengetahui karakteristik panel terhadap paparan sinar matahari. Pengujian dilakukan pada

tanggal 6-Juni-2021 berlokasi di Jl. Tenggunung Wetan GG. Rambutan 07, pada pukul 10:00– 14:00.

Gambar 11. Grafik Karakter Tegangan Terhadap Arus PV

Gambar 12. Grafik Karakter Tegangan Terhadap Daya PV

Dari Gambar 11 dan 12 diketahui daya yang mampu dihasilkan oleh PV yaitu berkisar antara 15-45W sedangkan untuk tegangannya berkisar 10-19V.

B. Pengujian Buck Converter

Pengujian *buck converter* pada Gambar 13 dengan perubahan *duty cycle* dari 10% hingga 90% menggunakan sebuah *power supply DC* dengan menyamakan dengan keadaan PV maka *buck converter* diuji pada beberapa tegangan untuk memastikan *buck converter* dapat bekerja pada PV. Percobaan ini diambil pada tegangan *input* berbeda, namun yang tersaji dalam tabel yaitu pengujian dengan tegangan *input* sebesar 13V, 17V, dan 21V pada Tabel 3, 4 dan 5.

Gambar 13. Dokumentasi Pengujian Buck Converter

Tabel 3. Uji Buck dengan Tegangan Uji 13V

Vin (V)	D (%)	Vo (V)		Io	Iin (A)	Po (W)	Pi (W)	Eff (%)	Error (%)
		Teori	Prak						
13	10	1,3	1,28	0,09	0,01	0,12	0,13	88,62	1,54
13	20	2,6	2,7	0,18	0,04	0,49	0,52	93,46	3,85
13	30	3,9	4,15	0,24	0,08	1,00	1,04	95,77	6,41
13	40	5,2	5,51	0,28	0,13	1,54	1,69	91,29	5,96
13	50	6,5	6,55	0,3	0,16	1,97	2,08	94,47	0,77
13	60	7,8	7,55	0,32	0,2	2,42	2,6	92,92	3,21
13	70	9,1	8,9	0,35	0,25	3,12	3,25	95,85	2,20
13	80	10,4	10,27	0,37	0,3	3,80	3,9	97,43	1,25
13	90	11,7	11,65	0,38	0,36	4,43	4,68	94,59	0,43

Tabel 4. Uji Buck dengan Tegangan Uji 17V

Vin (V)	D (%)	Vo (V)		Io	Iin (A)	Po (W)	Pi (W)	Eff (%)	Error (%)
		Teori	Prak						
17	10	1,7	1,53	0,14	0,01	0,21	0,25	84	10
17	20	3,4	3,34	0,25	0,06	0,84	1,02	81,86	1,76
17	30	5,1	5,4	0,33	0,11	1,73	1,87	92,47	2,75
17	40	6,8	7	0,38	0,17	2,66	2,89	92,04	2,94
17	50	8,5	8,39	0,41	0,22	3,44	3,74	91,98	1,29
17	60	10,02	9,93	0,44	0,27	4,37	4,59	95,19	2,65
17	70	11,9	11,69	0,47	0,34	5,49	5,78	95,06	1,76
17	80	13,6	13,46	0,49	0,4	6,60	6,8	96,99	1,03
17	90	15,25	15,25	0,51	0,47	7,78	7,99	97,34	0,33

Tabel 5. Uji Buck dengan Tegangan Uji 21V

Vin (V)	D (%)	Vo (V)		Io (A)	Iin (A)	Po (W)	Pi (W)	Eff (%)	Error (%)
		Teori	Prak						
21	10	2,1	1,84	0,19	0,02	0,35	0,42	83,24	12,38
21	20	4,2	4,06	0,33	0,07	1,34	1,47	91,14	3,33
21	30	6,3	6,43	0,42	0,14	2,7	2,94	91,86	2,06
21	40	8,4	8,62	0,48	0,21	4,14	4,41	93,82	2,62
21	50	10,5	10,4	0,52	0,27	5,41	5,67	95,38	0,95
21	60	12,6	12,36	0,55	0,35	6,80	7,35	92,49	1,90
21	70	14,7	14,52	0,58	0,42	8,42	8,82	95,48	1,22
21	80	16,8	16,7	0,61	0,51	10,1	10,7	95,12	0,6
21	90	18,9	18,9	0,64	0,6	12,1	12,6	95	0

Dari Tabel 3, 4, dan 5 diketahui bahwa masih terjadi *error* dan juga efisiensi nya masih belum 100% hal ini dikarenakan ketidaktepatan komponen maupun alat ukur yang dipakai.

C. Pengujian Performa Baterai

Pada pengujian performa baterai, akan dilakukan menggunakan buck konverter yang telah dibuat dan

dengan sumber sebuah *power supply* untuk mengetahui waktu pengisian dan juga kemampuan baterai saat di *charging* dengan daya maksimum PV yaitu sebesar 100W. Berikut adalah dokumentasi pengujian pada Gambar 14.

Gambar 14. Dokumentasi Pengujian Baterai

Dari pengujian yang telah dilakukan didapati data pada Tabel 6.

Tabel 6. Uji Performa Baterai

Detik-Ke	Vch (V)	Ich (A)	Pch (W)
1	10.3	3	30.9
2	11.1	5	55.5
3	11.95	7.84	93.688
4	11.95	7.54	90.103
5	12.16	8	97.28
6	12.16	7.96	96.7936
126	12.24	8	97.92
186	12.24	7.9	96.696
187	12.35	8	98.8
247	12.36	7.95	98.262
307	12.35	8	98.8
367	12.4	7.9	97.96
368	12.4	8	99.2
488	12.42	8.05	99.981
548	12.39	7.87	97.5093
549	12.45	7.95	98.9775
669	12.48	8	99.84
729	12.48	7.98	99.5904
789	12.53	7.9	98.987
790	12.55	7.9	99.145
860	12.6	7.8	98.28
1460	12.6	7	88.2
2060	12.6	6.45	81.27
2660	12.6	5.77	72.702
3260	12.6	5.13	64.638
3860	12.6	4.51	56.826
4460	12.6	4.01	50.526

Lanjutan Tabel 6

Detik-Ke	Vch (V)	Ich (A)	Pch (W)
5060	12.6	3.52	44.352
5660	12.6	3.22	40.572
6260	12.6	2.77	34.902
6860	12.6	2.52	31.752
7460	12.6	2.09	26.334
8060	12.6	1.82	22.932
8660	12.6	1.54	19.404
9260	12.6	1.31	16.506
9860	12.6	1.2	15.12
10460	12.6	1	12.6

Dari Tabel 6 didapati bahwa, baterai di *charging* hingga penuh dengan perpaduan antara *charging* dengan daya mendekati 100W dan tegangan konstan memerlukan waktu 10460 detik atau sekitar 2,9 jam. dan dari percobaan ini didapati bahwa baterai mampu di *charging* dengan daya sebesar daya maksimum panel surya yaitu sebesar 100W sehingga dapat dipastikan dapat berjalan dengan normal saat diterapkan.

D. Pengujian MPPT

Pengujian MPPT dengan metode *modified incremental conductance* yang dilakukan dengan bantuan software *PSIM*. Untuk parameter *radiasi* diatur berubah-ubah dengan nilai 100-1000 W/m² dengan *step* 100 W/m² serta dengan *temperature* 25°C.

Gambar 15. Rangkaian MPPT pada Software PSIM

Pada Gambar 15 didapati bahwa pada sistem ini menggunakan sebuah PV berspesifikasi 100Wp dan konverter yang digunakan merupakan *buck converter*. Berdasarkan hasil simulasi didapat data *tracking* seperti yang ditunjukkan dengan data tersaji pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Uji MPPT Iradiasi Konstan

I Radiance (W/m ²)	Vpv (V)	Ipv (A)	Ppv (W)	Pmax (W)	Akurasi (%)
100	15,8	0,56	8,85	8,91	99,30
200	16,53	1,12	18,51	18,62	99,43
300	16,93	1,68	28,44	28,57	99,55
400	17,09	2,26	38,64	38,66	99,94
500	17,31	2,82	48,81	48,84	99,95
600	17,33	3,4	58,92	59,04	99,80
700	17,53	3,94	69,07	69,27	99,71
800	17,58	4,52	79,46	79,52	99,93
900	17,57	5,1	89,61	89,77	99,82
1000	17,76	5,63	99,99	99,99	100,00

Berdasarkan Tabel 8, dari data tersebut maka dapat dikatakan bahwa *MPPT* telah berjalan dan dapat diterapkan pada sistem dimana *MPPT* sudah dapat *tracking* daya maksimum dimana untuk *range* tegangan *input* yang diberikan oleh PV adalah 15,8V hingga 17,76V. Dan dari segi akurasi *MPPT* sudah dikatakan sangat baik karena hasil dari *MPPT* memiliki akurasi atau ketepatan dalam *range* 99,3% hingga 100%. Dan setelah itu dilakukan pula pengamatan pada sisi konverter dengan hasil pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian MPPT untuk Pengisian Baterai

I Radiance (W/m ²)	Vout Conv (V)	Iout Conv (A)	Pout Conv (W)	Duty (%)
100	3,7	2,35	8,70	22
200	5,36	3,4	18,22	32
300	6,67	4,24	28,28	40
400	7,77	4,94	38,38	46
500	8,74	5,54	48,42	50
600	9,61	6,11	58,72	54
700	10,43	6,62	69,05	58
800	11,16	7,087	79,09	62
900	11,86	7,53	89,31	66
1000	12,52	7,95	99,53	70

Dari Tabel 8 didapati bahwa daya *output* konverter maksimum yaitu saat nilai iradiasi sebesar 1000 W/m². Dimana daya yang dikeluarkan konverter adalah 99,53 W dengan tegangan *output* konverter maksimum sebesar 12,52V dan dengan arus 7,95A.

Jenis baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah *Li-Ion Samsung SDI-INR18650-35E* dengan konfigurasi 3S4P (3 Seri 4 Paralel) maka tegangan

nominalnya menjadi 10,8V dan tegangan pengisian maksimum 12,6V. Sehingga pada tabel dapat diketahui iradiasi minimum agar bisa melakukan pengisian adalah 800W/m² dimana tegangan output konverter adalah sebesar 11,16V.

Gambar 16. Rangkaian Pengujian Performa MPPT pada Software PSIM

Seperti pada Gambar 16, Pengujian ini untuk mengetahui performa MPPT metode *modified incremental conductance* pada saat diterapkan pada kondisi iradiasi yang berubah secara tiba-tiba, baik dari tingkat iradiasi tinggi ke rendah ataupun sebaliknya. Proses *tracking* pada saat dilakukan pengujian yaitu dengan melakukan perubahan pada nilai iradiasi dengan perubahan 800 – 1000 – 500 – 700 w/m² dan dengan *temperature* 25°C.

Gambar 17. Perubahan Nilai Iradiasi yang dilakukan

Gambar 18. Proses Tracking dari Iradiasi 800 W/m² ke 1000 W/m² ke 500 W/m² ke 700 W/m²

Pada Gambar 17 dan 18 diketahui bahwa proses *tracking* daya dari iradiasi rendah ke tinggi ataupun sebaliknya dapat berjalan dengan baik. *MPPT modified incremental conductance* dapat menunjukkan performa yang baik dengan berhasil melakukan *tracking* ulang ketika ada perubahan iradiasi. *Tracking* dan penurunan drastis terjadi pada iradiasi 1000 menuju ke 500 yang memakan banyak waktu dikarenakan penurunan yang terlalu jauh hingga waktu akan mencapai daya maksimum sedikit lebih lambat.

E. Pengujian PID

Dikarenakan tegangan *output* konverter maksimum saat melakukan MPPT adalah 12,52V sedangkan tegangan maksimum yang harus dicapai baterai adalah 12,6V digunakan kontrol PID metode analitik untuk mencapai serta menstabilkan tegangan pengisian baterai sehingga mencapai tegangan *rating* maksimumnya yang mana rangkaiannya ditampilkan dalam Gambar 19.

Gambar 19. Rangkaian PID pada Software PSIM

Tabel 9. Data Uji PID

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Eff (%)	D (%)
13	7,78	12,61	8,01	101,14	101,01	99,87	98
14	7,21	12,6	8	100,94	100,80	99,86	92
15	6,7	12,62	7,96	100,5	100,46	99,96	93
16	6,33	12,61	8,02	101,28	101,13	99,85	87
17	5,95	12,63	7,99	101,15	100,91	99,77	73
18	5,6	12,64	7,96	100,8	100,61	99,82	70
19	5,33	12,62	8,01	101,27	101,09	99,82	69
20	5,05	12,65	7,95	101	100,57	99,57	66
21	4,82	12,62	8,01	101,22	101,09	99,87	63

Dari Tabel 9 didapati hasil *output* dari konverter sudah sesuai dengan *setpoint* yang dihasilkan yaitu

sebesar 12,6V sesuai rating yang tertera pada baterai. Namun pada hasil *output* konverter masih terjadi *error* dari sisi *output* konverter dimana *error* yang terjadi berkisar 0-0,05V atau dalam persentase 0-0,4%. Untuk memastikan keandalan dari PID maka dilakukan pengujian dengan memberikan tegangan *input* yang berubah ubah dengan *step* naik dan turun dengan hasil berikut:

Gambar 20. Gambar Tegangan *Input* yang Diberikan dengan 17V dinaikkan 21V, dilakukan Penurunan 18V dan kenaikan 20V

Gambar 21. Gambar Tegangan *Output* yang Diberikan dengan tegangan *input* 17V dinaikkan 21V, dilakukan Penurunan 18V dan kenaikan 20V

Dari hasil percobaan pada Gambar 20 dan 21 diketahui bahwa saat terjadi penurunan secara tiba-tiba PID sudah siap dan handal. Dilihat dari hasil *output* yang telah mendekati set point yaitu 12,6V pada pengujian kenaikan maupun penurunan tegangan *input* dan dapat dipastikan PID dapat mengikuti.

V. KESIMPULAN

Tracking maksimum MPPT metode *Modified Incremental Conductance* pada iradiasi 1000W/m² dengan *duty cycle* 70% menghasilkan keluaran daya maksimum *buck converter* 99,53W serta tegangan keluaran *buck converter* 12,52V dan arus 7,95A. Kontrol PID dengan nilai parameter $K_p=7,8$, $K_i=50000$, dan $K_d=0,000304$ digunakan untuk mendapatkan tegangan konstan keluaran dari *buck converter* sebesar 12,6V. Pada pengisian penuh

baterai *Li-Ion* dengan daya pengisian sebesar 100W, diperlukan waktu 10460 detik.

REFERENSI

- [1] Hart, Daniel W. (2011). *Power Electronics*. The McGraw Hill Companies. New York, Amerika.
- [2] SDI, S. (2015). Inr 18650 - 35E. Retrieved from <https://www.orbtronic.com/content/samsung-35e-datasheet-inr18650-35e.pdf>
- [3] Haryadi S., G. R. F. S. (2016). *Rancang Bangun Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Charger Handphone Di Tempat Umum*. Teknik Mesin UNISKA, 02(02), 114–120.
- [4] Anowar, M. H., & Roy, P. (2019). *A Modified Incremental Conductance Based Photovoltaic MPPT Charge Controller*. 2nd International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering, ECCE 2019, February. <https://doi.org/10.1109/ECACE.2019.8679308>
- [5] Prasetyono, E., Anggriawan, D. O., Firmansyah, A. Z., & Windarko, N. A. (2017). *A modified MPPT algorithm using incremental conductance for constant power generation of photovoltaic systems*. *Proceedings IES-ETA 2017 - International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications*, 2017-December, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ELECSYM.2017.8240362>
- [6] N. T. Mooniarsih. (2016). *Simulasi dan Analisis Kinerja Prediktor Smith pada Kontrol Proses yang Disertai Tundaan Waktu*, Elkha, vol. 8, no. 2, pp. 6–13, 2016, doi: 10.26418/elkha.v8i2.18287.
- [7] Thowil Afif, M., & Ayu Putri Pratiwi, I. (2015). *Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review*. Jurnal Rekayasa Mesin, 6(2), 95–99. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1>
- [8] Budhi Anto, Edy Hamdani, Rizki Abdullah. (2014). *Portable Battery Charger Berbasis Sel*

Surya. Teknik Elektro Universitas Riau, Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 11, No.1, April 2014, hal. 19-24

- [9] Maranda, Witold. (2015). *Capacity Degradation of Lead-acid Batteries Under Variable-depth Cycling Operation in Photovoltaic System*. 10.1109/MIXDES.2015.7208584.
- [10] Julisman, A., Sara, I. D., & Siregar, R. H. (2017). *Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Stadion Bola*. Jurnal Karya Ilmiah Teknik Elektro, 2(1), 35–42.