

## SISTEM PANEL SURYA MENGGUNAKAN SYNCHRONOUS BUCK CONVERTER DENGAN TEKNIK MPPT

### Solar Panel System Using Synchronous Buck Converter With MPPT Techniques

Pungky Habib Bachtiar<sup>1</sup>, Triwahju Hardianto<sup>2</sup>, Andi Setiawan<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

<sup>2</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan 37, Jember 68121

Email : [pungkyhabib@gmail.com](mailto:pungkyhabib@gmail.com)<sup>1</sup>, [triwahjupustaka@gmail.com](mailto:triwahjupustaka@gmail.com)<sup>2</sup>, [andismt@gmail.com](mailto:andismt@gmail.com)<sup>3</sup>,

---

#### ABSTRAK

DC-DC converter adalah bagian penting dari sistem panel surya.. Masalah Rugi daya dari Converter DC-DC step down atau Buck Converter menjadikan tidak maksimal dalam pemanfaatan energi terbarukan. Paper ini membahas rancangan topologi atau sistem kerja dari Buck Converter Konvensional sehingga mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi terbarukan. Perbedaan yang mendasar dari Synchronous Buck Converter dengan Buck Converter Konvensional terdapat pada komponen elektronika yang digunakan. Dioda pada konverter dapat mengurangi tegangan dalam keadaan forward bias yaitu +- 0.7 V. Pada Synchronous Buck Converter komponen dioda digantikan dengan MOSFET yang mana akan membuka dan menutup secara bergantian untuk mengatasi masalah tersebut. Untuk memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan, dari penelitian sebelumnya Teknik MPPT dinilai mampu dalam pelacakan titik daya maksimum. Sistem Panel Surya 50 Wp menggunakan Synchronous Buck Converter dengan Teknik MPPT ini telah diuji selama 6 jam pada tanggal 1 Mei 2020 di Laboratorium Sistem Tenaga Teknik Elektro Universitas Jember mulai pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 14.00 WIB. Sistem tersebut mampu memanen energi total 423611,3807 Joule tersimpan pada baterai VRLA. Total energi keluaran Panel surya selama pengujian yaitu 468845,0587 Joule. Efisiensi sistem ini sebesar 90.35 %. Dengan Error persen Volt meter +-0.56 %, ampere meter +-2.19 %.

**Kata kunci:** Panel Surya, Synchronous Buck Converter, MPPT, VRLA

---

#### ABSTRACT

DC-DC Converter is an important part of the solar panel system. The issue of power loss from the step down DC-DC Converter or Buck Converter causes the use of renewable energy resources is less optimal. This paper discusses the topology or operation of the Conventional Buck Converter to increase the efficiency of renewable energy utilization. The main difference between the Synchronous Buck Converter and the Conventional Buck Converter is in the electronic components used. The diode in the converter can reduce the voltage in the forward bias condition i.e , + - 0.7 V. In the Synchronous Buck Converter, the diode replaced by a MOSFET which is activated alternately to solve this problem. In order to maximize the use of renewable energy, based on the previous research, the MPPT technique is considered capable to track the points for the maximum power. The developed 50 Wp Solar Panel System using Synchronous Buck Converter with MPPT technique has been successfully tested for 6 hours on May 1, 2020 at the Electrical Engineering Power System Laboratory, University of Jember from 08.00 WIB to 14.00 WIB. The system is able to harvest a total of 4,23611,3807 Joules of energy stored in VRLA batteries. The total energy output of the solar panels during the test is 468845.0587 Joules. The efficiency of this system is 90.35%. The range of error in the Volt meter is + -0.56%, and the ampere meter is + -2.19%.

**Key words :** Solar panel, Synchronous Buck Converter, MPPT, VRL

---

## PENDAHULUAN

Berlimpahnya energi surya yang diterima wilayah Negara Indonesia, seharusnya dapat menjadi solusi untuk menggantikan sumber energi listrik konvensional seperti batu bara dan energi fosil lainnya menjadi energi terbarukan. Hingga tahun 2018 infrastruktur pembangkit listrik masih didominasi oleh pembangkit listrik tenaga uap dengan rasio sebesar 42.34%, dengan pembangkitan terbesar berada di PLTU Paiton Probolinggo. Sedangkan rasio infrastruktur pembangkitan dengan menggunakan energi terbarukan berupa PLTS sebesar 0.09% pada tahun 2018. [1]

Panel surya dapat mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Kekurangan sumber energi dari matahari yaitu bergantung pada kondisi cuaca. Untuk mengatasi hal tersebut diterapkanlah teknik pelacakan titik daya maksimum atau Maximum Power Point Tracking (MPPT). MPPT merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengekstrak daya maksimum untuk mengoptimalkan produksi energi listrik. Untuk memaksimalkan daya keluaran panel surya juga membutuhkan operasi yang maksimum dari konverter DC-DC sebagai penghubung antara panel surya dengan penyimpan daya atau beban yang akan diberikan. [2]

Dalam perancangan konverter hal yang perlu diperhatikan yaitu pemilihan komponen yang akan digunakan sehingga akan mengurangi power losses pada konverter dan akan meningkatkan efisiensi. Untuk sistem tenaga surya ini diperlukan perbaikan nilai efisiensi pada konverter agar baterai lebih sering menerima daya charging. [3]

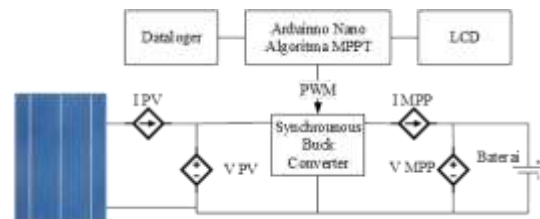
Synchronous buck converter menghasilkan tegangan yang lebih rendah dari tegangan masukan dan dapat menghasilkan arus tinggi sambil meminimalkan kehilangan daya, dengan efisiensi yang cukup baik untuk mengubah tegangan dari panel surya yang sesuai untuk pengisian baterai. Synchronous buck converter terdiri dari dua MOSFET daya, induktor output dan kapasitor output. Topologi buck spesifik ini mendapatkan namanya dari metode kontrol dua kekuatan MOSFET kontrol on / off disinkronkan untuk memberikan tegangan output yang diatur dan untuk mencegah MOSFET menyala secara bersamaan. Baterai lead-acid sering digunakan untuk penyimpanan karena

memiliki ketahanan terhadap siklus pengisian-pelepasan. [4] [5]

Pada perangkat semikonduktor terdapat kerugian konduksi, seperti pada dioda. Dioda pada Buck converter konvensional memiliki Forward Voltage sebesar 0,6 V, Hal itulah yang menyebabkan rugi daya secara berkelanjutan pada converter. Untuk mengatasi rugi daya tersebut dilakukan desain ulang yang mana dioda diganti dengan Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET). Desain baru yang dari converter tersebut sering dinamakan dengan Synchronous Buck Converter, karena kedua MOSFET bekerja secara bergantian dan berkelanjutan. [6] [7] [8]

## METODE PENELITIAN

### A. Desain sistem



Gambar 1. Desain sistem secara keseluruhan

Diagram blok sistem kerja dari rancang bangun Synchronous Buck Converter pada panel surya menggunakan MPPT dengan beban baterai. Ketika panel surya mulai menerima foton dari sumber cahaya matahari, maka pada panel surya akan menghasilkan tegangan dan arus. Ketika muncul tegangan dan arus, maka akan dilakukan beberapa pengukuran pada keluaran panel surya, yaitu pengukuran tegangan menggunakan sensor tegangan, pengukuran arus dengan sensor arus ACS712 5 A. Pengukuran arus maupun tegangan ini akan digunakan untuk parameter masukan algoritma MPPT. Algoritma MPPT akan menentukan besar Duty Cycle (D) untuk mengontrol pensaklaran pada mosfet yang ada di Synchronous Buck Converter.

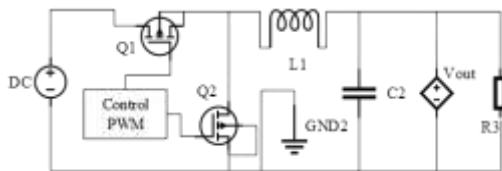
### B. Perancangan PV

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini merupakan panel surya jenis polycrystalline dengan kapasitas 50 Wp. Berikut ini merupakan spesifikasi dari panel surya yang digunakan.

Tabel 1. Spesifikasi panel surya

Panel Surya Polycrystalline 50Wp	
Luas Permukaan	0,3024 m <sup>2</sup>
Daya Maksimum (Pmax)	50 Wp
Open Circuit Voltage (Voc)	21,63 V
Short Circuit Current (Isc)	3,12 A
Voltage at Pmax (Vmp)	17,13 V
Current at Pmax (Imp)	2.92 A
Test Condition	1000W/m <sup>2</sup> , 25°C
Power Tolerance	5 %

**C. Perancangan DC-DC Synchronous Buck Converter**



Gambar 2. Rangkaian Synchronous buck converter

Untuk mendesain DC-DC Synchronous buck converter diperlukan beberapa parameter utama, yaitu spesifikasi dari converter tersebut. Spesifikasi tersebut disesuaikan dengan spesifikasi dari panel surya dan spesifikasi beban yang akan digunakan.

Tabel 2. Spesifikasi panel surya

Spesifikasi Synchronous buck converter		
Parameter	Symbol	Target
Tegangan Masukan	Vin	15 Volt
Tegangan Nominal	Vout	12 Volt
Arus Keluaran maksimum	Imax	4,2 A
Frekuensi pensaklaran	fsw	50kHz
Riple tegangan	CVR	0.02
Riple arus	LIR	0,35

Menentukan induktansi maksimum dan minimum, Untuk mendapat arus riak yang kurang lebih 35% dari arus maksimal

$$\Delta I_L = LIR \times I_{OUT,MAX} \quad \dots(1)$$

$$\Delta I_L = 0.35 \times 4.2 = 1.47$$

Setelah mendapatkan estimasi ripple arus maka untuk menghitung Iout minimum sebagai berikut

$$I_{OUT,MIN} = \frac{\Delta I_L}{2} \quad \dots(2)$$

$$I_{OUT,MIN} = \frac{1.47}{2} = 0.735A$$

Maka arus riak induktor dapat didefinisikan sebagai berikut

$$I_{PK} = I_{OUT,MAX} + \frac{\Delta I_L}{2} = 4.2 + \frac{0.35 \times 4.2}{2} \quad \dots(3)$$

$$I_{PK} = 4.2 + \frac{0.35 \times 4.2}{2} = 4.935 A$$

Pemilihan induktor dapat didefinisikan menjadi

$$L_{MIN} = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) \times D}{LIR \times I_{OUT,MAX} \times f_{SW}} \quad \dots(4)$$

$$L_{MIN} \cong \frac{(15-12) \times 0.8}{0.35 \times 4.2 \times 50 \times 10^3} \cong 32,65 \mu H \cong \pm 33 \mu H$$

Jadi nilai induktansi yang dibutuhkan untuk merancang Synchronous buck converter sebesar **33μH** dan 5 Ampere.

Pada pemilihan kapasitor ini digunakan estimasi ripple tegangannya adalah 5 %. Maka dapat dihitung ripple tegangan sebagai berikut.

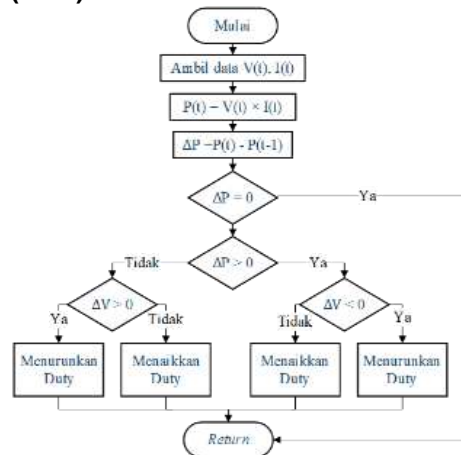
$$C_{MIN} = \frac{LIR \times I_{OUT,MAX}}{8 \times f_{SW} \times CVR \times V_{OUT}} \quad \dots(5)$$

$$C_{MIN} = \frac{1.47}{8 \times 50000 \times 0.2} = 183.75 \mu F$$

Dengan memperhatikan rentang yang cukup pemilihan kapasitor dengan nilai sebesar 220μF

Driver MOSFET memungkinkan sinyal keluaran digital arus rendah dari Mikrokontroler untuk menggerakkan gerbang MOSFET. Sinyal digital 5 volt dapat mengganti MOSFET tegangan tinggi menggunakan driver. Desain menggunakan driver setengah gelombang IC IR2104. IC mengambil sinyal PWM yang masuk dari Mikrokontroler, dan kemudian terdapat dua output untuk MOSFET Sisi Tinggi dan Rendah.

**D. Flowchart MPPT Perturb and Observe (P&O)**



Gambar 3. Flowchart algoritma MPPT Perturb And Observe (P&O)

Teknik ini digunakan untuk menentukan dutycycle PWM yang akan dikirimkan ke DC-DC Synchronous buck converter. Untuk dapat melacak titik daya maksimum dari sistem maka dibutuhkan data tegangan keluaran converter dan arus keluaran yang mana dapat menentukan daya maksimum yang masuk pada baterai.

**E. Perencanaan Baterai**

Penelitian ini menggunakan baterai dengan jenis VRLA (Valve Regulated Lead Acid) dengan kapasitas 12 Volt 12 Ah. Karena baterai VRLA ini merupakan salah satu jenis baterai yang tidak memerlukan perawatan khusus, sistem ini tidak membutuhkan arus pelepasan yang tinggi serta baterai dengan jenis industri mudah didapatkan.



Gambar 4. Bentuk Fisik Baterai VRLA

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Pengujian Karakteristik Panel Surya 50 WP**

Pengujian dilakukan dengan waktu pukul 08.00 WIB sampai dengan pukul 14.00 WIB. Didapatkan beberapa data sebagai berikut.

Tabel 3. Pengujian Karakteristik Panel Surya 50WP

Waktu WIB	Iradiansi W/m2	Voc (V)	Isc (A)	Pin (Watt)	Pout (Watt)	η (%)
08.00	384	19,42	1,22	116,12	17,56	15,12
08.30	407	19,03	1,41	123,08	19,89	16,16
09.00	512	19,14	1,59	154,83	22,56	14,57
09.30	655	18,85	1,98	198,07	27,66	13,97
10.00	695	19,19	2,35	210,17	33,43	15,90
10.30	631	19,26	1,83	190,81	26,12	13,69
11.00	771	19,44	2,67	233,15	38,47	16,50
11.30	690	18,95	2,43	208,66	34,13	16,36
12.00	820	19,31	2,78	247,97	39,79	16,05
12.30	677	20,42	1,91	204,72	28,91	14,12
13.00	489	19,25	1,75	147,87	24,97	16,89
13.30	520	19,13	1,56	157,25	22,12	14,07
14.00	425	19,71	1,42	128,52	20,74	16,14

Daya keluaran panel surya didapatkan dari hasil perkalian antara nilai tegangan Voc, arus Isc dan Fill factor (FF). FF merupakan nilai rasio tegangan dan arus

pada keadaan daya maksimal dan tegangan Voc dan arus Isc Sedangkan *Fill factor* dapat ditulis sebagai berikut

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots(6)$$

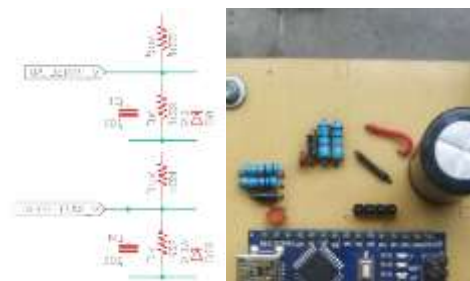
**B. Pengujian Sensor tegangan**

Berikut adalah tabel pembacaan sensor tegangan dan pembacaan multimeter.

Tabel 4. Pengujian Sensor Tegangan Input

Sensor Tegangan (V)	Multimeter (V)	Error (E%)
12,41	12,48	0,56
12,95	13,02	0,54
13,77	13,85	0,58
14,22	14,30	0,56
15,13	15,22	0,59
16,32	16,41	0,55
17,19	17,29	0,58
17,91	18,01	0,56
18,14	18,24	0,55
18,22	18,30	0,44
19,51	19,62	0,56
20,12	20,24	0,59
21,53	21,65	0,55
22,32	22,45	0,58
23,45	23,59	0,59
<b>Rata – Rata E%</b>		<b>0,56%</b>

Dari Pengujian sensor tegangan dapat dibandingkan untuk mengetahui nilai error persen rata-rata yaitu sebesar 0,56 %.



Gambar 5. Sensor Tegangan

**C. Pengujian Sensor Arus**



Gambar 6. Sensor ACS 712

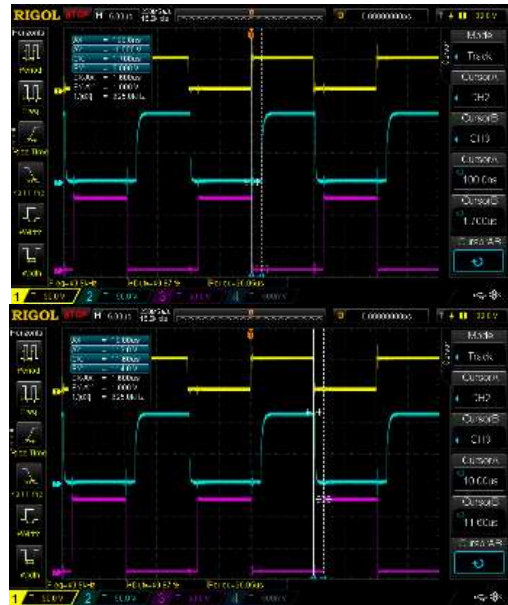
Pengambilan data pengujian sensor arus bertujuan agar menghasilkan pembacaan sensor yang diharapkan dapat lebih akurat.

Tabel 5. Hasil pengujian Arus

No	Sensor ACS712 (A)	Multimeter (A)	Error Persen (E%)
1	0,102	0,10	2,00
2	0,205	0,20	2,50
3	0,531	0,52	2,12
4	0,910	0,89	2,25
5	1,050	1,02	2,94
6	1,170	1,14	2,63
7	1,365	1,34	1,87
8	1,480	1,45	2,07
9	1,580	1,55	1,94
10	1,840	1,80	2,22
11	2,051	2,01	2,04
12	2,350	2,30	2,17
13	2,530	2,48	2,02
14	2,675	2,62	2,10
15	2,980	2,92	2,05
<b>Rata – Rata E%</b>			<b>2,19</b>

Dari Pengujian sensor arus dapat dibandingkan untuk mengetahui nilai error persen rata-rata yaitu sebesar 2,19 %.

**D, Analisis Pengujian sinyal PWM**



Gambar7. Sinyal PWM, untuk Gate 1, dan Gate 2

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang yang akan digunakan untuk switching converter. Sinyal dengan warna kuning merupakan generator PWM, Sinyal dengan warna biru merupakan Gate 1, Sinyal dengan warna ungu merupakan gate 2, dimana setiap pergantian dari waktu hidup dan mati terdapat titik mati selama 1,6 us pada periode pensaklaran 20 us.

**E. Pengujian Baterai**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi baterai serta mengondisikan isi baterai kurang lebih 10 %.

Tabel 6. Data hasil pengujian discharge baterai

No.	Menit	V (V)	I (A)	Watt	Ah
1	20	12,93	1,47	19,01	0,53
2	40	12,84	1,46	18,75	0,52
3	60	12,74	1,45	18,47	0,51
4	80	12,65	1,44	18,22	0,51
5	100	12,56	1,43	17,96	0,50
6	120	12,46	1,42	17,69	0,49
7	140	12,37	1,41	17,44	0,48
8	160	12,28	1,4	17,19	0,48
9	180	12,19	1,39	16,94	0,47
10	200	12,1	1,38	16,70	0,46
11	220	12,01	1,37	16,45	0,46
12	240	11,92	1,35	16,09	0,45
13	260	11,83	1,34	15,85	0,44
14	280	11,74	1,33	15,61	0,43
15	300	11,65	1,32	15,38	0,43
16	320	11,56	1,31	15,14	0,42
17	340	11,48	1,30	14,92	0,41
18	360	11,39	1,28	14,58	0,40
19	380	11,30	1,27	14,35	0,40
20	400	11,22	1,26	14,14	0,39
21	420	11,13	1,25	13,91	0,39
22	440	11,05	1,23	13,59	0,38
23	460	10,96	1,22	13,37	0,37
24	480	10,88	1,21	13,16	0,37
<b>Jumlah</b>				<b>128,31</b>	<b>10,69</b>



Kapasitas nominal = *total discharge* +  $(10\% \times 12 Ah) = 10,69 + 1,2 Ah = 11,81 Ah$

**F. Pengujian konverter dengan beban**

Pengujian dilakukan dengan variasi perubahan duty cycle dengan rentang 10 % hingga 90 %. Untuk mengetahui efisiensi ( $\eta$ ) dari konverter.

Tabel 7. Data pengujian konverter dengan beban 15 Ohm.

D (%)	Vin	Vout	Iin	Iout	$\eta$ (%)
10	22,65	1,675	0,047	0,109	17,15
20	22,64	3,899	0,097	0,255	45,27
30	22,63	5,799	0,159	0,38	61,24
40	22,62	7,92	0,251	0,52	72,54
50	22,6	9,9	0,365	0,615	73,81
60	22,58	12,1	0,501	0,8	85,57
70	22,56	14,2	0,688	0,944	86,36
80	22,52	16,4	0,898	1,094	88,72
90	22,49	18,6	1,118	1,231	91,06
<b>Rata-rata</b>					<b>83,63</b>

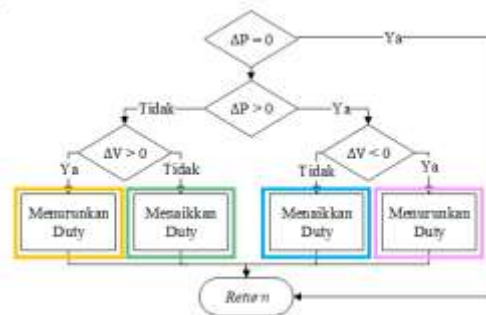
Besarnya duty cycle yang masuk ke konverter menjadikan peningkatan besar daya yang keluar dari konverter atau masuk ke beban. Hal ini menjadikan besarnya duty cycle berbanding lurus dengan daya yang masuk ke beban.

**G. Analisis Algoritma MPPT P&O**

Tabel 8. Hasil pengujian MPPT dengan algoritma P&O per 10 detik

Pukul (WIB)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)	D (%)	$\eta$ (%)
08.00.10	15,12	12,35	0,39	0,45	92,78	93,83
08.00.20	16,22	12,37	0,33	0,37	75,25	84,29
08.00.30	17,03	12,20	0,33	0,37	74,52	80,52
08.00.40	19,87	12,28	0,49	0,54	79,87	68,65
08.00.50	16,51	12,40	0,54	0,58	85,90	79,52
08.01.00	17,64	12,42	0,93	0,98	86,36	72,41
08.01.10	18,64	12,15	0,93	1,03	89,27	71,80
08.01.20	19,28	12,19	0,64	0,80	75,30	78,80
08.01.30	19,22	12,08	0,63	0,78	75,22	78,02
08.01.40	19,18	12,10	0,71	0,85	76,99	75,20

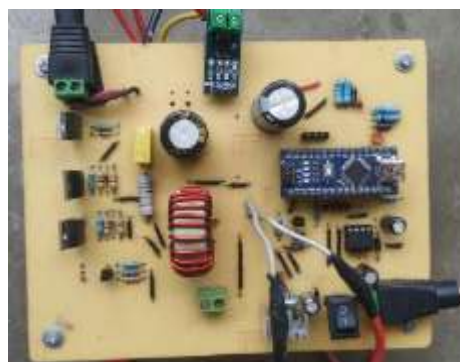
Data diatas diambil dari masukan konverter dan keluaran konverter yang mana untuk memastikan Algoritma MPPT P&O yang disematkan pada Arduino bekerja sesuai dengan flowchart yang dibuat



Gambar 8. Analisis Pelacakan daya sistem Panel surya

**H. Analisis Pengujian Sistem Secara Keseluruhan.**

Pengujian ini dilakukan pada tanggal 1 Mei 2020 dengan rentang waktu pukul 08.00 WIB sampai dengan 14.00 WIB di laboratorium Sistem Tenaga, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Dengan mengabaikan kondisi cuaca untuk mengetahui kinerja dari keseluruhan sistem.



Gambar 9. Synchronous Buck Converter yang telah dibangun



Gambar 10. pengujian sistem secara keseluruhan

Berdasarkan dari hasil pengujian sistem secara keseluruhan dengan rentang waktu 6 jam maka dituliskan sebagai berikut. Dapat dihitung energi yang dihasilkan panel surya dengan persamaan berikut.

$$E = \text{Rata-rata daya (W)} \times t(s) \quad \dots(7)$$

$$E = 21,71 \times 21600 = 468845,0587 \text{ Joule}$$

Dalam satuan Wh (Watt hour) maka sebagai berikut.

$$E(Wh) = \frac{E}{3600} \quad \dots(8)$$

$$E(Wh) = \frac{468845,0587}{3600} = 130,235 \text{ Wh}$$

Dalam satuan Ah (Ampere hour) maka sebagai berikut.

$$Ah = \frac{Wh}{\text{Tegangan nominal}} \quad \dots(9)$$

$$Ah = \frac{130,235}{12} = 10,8529 \text{ Ah}$$

Dapat dihitung energi yang diterima oleh baterai atau keluaran dari konverter dengan persamaan berikut.

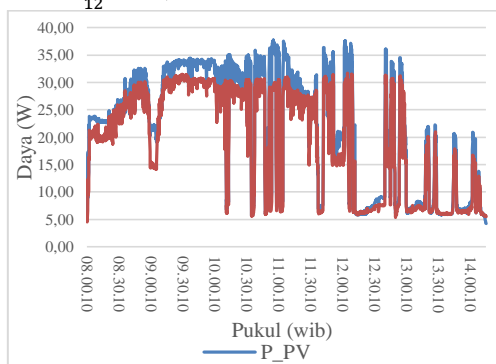
$$E = 19,61 \times 21600 = 423611,3807 \text{ Joule}$$

Dalam satuan Wh (Watt hour) maka sebagai berikut.

$$E(Wh) = \frac{423611,3807}{3600} = 117,67 \text{ Wh}$$

Dalam satuan Ah (Ampere hour) maka sebagai berikut.

$$Ah = \frac{117,67}{12} = 9,80582 \text{ Ah}$$



Gambar 11. Daya Pengujian Keseluhan.

Total energi yang dihasilkan panel surya yaitu sebesar 468845,0587 Joule atau 130,235 Wh sedangkan total energi keluaran konverter sebesar 423611,3807 Joule atau 117,67 Wh. Total waktu untuk charge baterai 6 jam atau 360 menit. Semakin lama tegangan baterai semakin naik akan

berbanding lurus dengan tegangan input maka didapatkan kapasitas nominal baterai saat charge menggunakan sistem sebesar 9,80582 Ah. Dengan nilai efisiensi rata-rata sebesar 90,35 %. Daya yang dihasilkan panel surya rata-rata sebesar 21,71 Watt.

## KESIMPULAN

Sistem kontrol MPPT menggunakan *Synchronous Buck Converter* yang dirancang mempunyai efisiensi tertinggi sebesar 99,92% dan efisiensi terendah sebesar 65 % dengan efisiensi rata-rata sebesar 90,35%. Hasil rancang bangun *Synchronous Buck Converter* dengan kontrol MPPT panel surya *Polycrystalline* 50 WP pada penerapan sistem keseluruhan dengan durasi 6 jam atau 360 menit dapat mengisi baterai dengan total 9,80528 Ah.

## REFERENSI

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Statistik Ketenagalistrikan 2018, Jakarta: Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan, 2019.
- [2] B. Tito, "Metode MPPT Baru untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali PI," FT UI, 2012.
- [3] F. H. Hasan, "Rancang Bangun Mppt Dengan DC-DC Buck Converter Pada Panel Surya Dengan Beban Pompa Air DC," FT Unej, 2017.
- [4] S. S. I. Astra, "Studi rancang bangun Solar Charge Controller dengan indikator arus," Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya, vol. 11.
- [5] U. I. D. C. H. M. Hasan, "Sistem Charging Baterai Pada Perancangan Mobil," Politeknik Negeri Surabaya.
- [6] V. L. E. Taddy, "Modeling and simulation of a switch-mode synchronous buck," Politehnica University of Bucharest.
- [7] A. Darmawansyah, "Analisis Dan Perancangan Integrated Circuit AND OR Invert (AOI)".
- [8] Semiconductor Component Industries, "Selecsion Guide for the Synchronous Buck Converter," AND9135