

Rancang Bangun *Sepic Converter* Untuk Panel Surya Dengan *MPPT Incremental Conductance* Sebagai Pengisian Baterai Sepeda Listrik

Mohamad Arif B.
Mohamadarifbaihaqiy
@yahoo.co.id
Universitas Jember

Triwahju Hardianto
triwahju.teknik@unej.ac.id
Universitas Jember

Bambang Sri Kaloko
bambangsk@unej.ac.id
Universitas Jember

Moch. Gozali
gozali.teknik@unej.ac.id
Universitas Jember

Bambang Sujanarko
sujanarko.teknik@unej.ac.id
Universitas Jember

Abstrak

Panel surya merupakan pembangkit listrik yang dapat merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Pada panel surya bekerja berdasarkan prinsip kerja dari sebuah semikonduktor p-n junction, karena pada sel surya menggunakan sebuah silikon sebagai bahan utama dalam penyusunnya. Tetapi dalam pembangkitannya, panel surya sangat bergantung pada kondisi cuaca, sehingga pada penyaluran menuju beban menjadi tidak maksimal. Sehingga perlu ditambahkan metode untuk memperoleh daya maksimal yakni menggunakan maximum power point tracker (MPPT). Algoritma ini akan diterapkan pada switching SEPIC converter berupa gelombang PWM dari mikrokontroler Arduino dengan frekuensi 62,5 kHz agar dapat menaikkan tegangan atau menurunkan tegangan sesuai dengan setpoint. Baterai yang digunakan adalah dengan kapasitas 48 Volt 12 Ah. SEPIC converter akan menaikkan tegangan dari panel surya yang dirangkai secara seri (masing-masing 100Wp) sebesar 31-39 Volt menjadi 55 Volt. Total waktu yang dibutuhkan selama pengisian baterai adalah 8,75 jam. Pada saat pengujian dengan beban 300 Ohm diperoleh efisiensi sebesar 99% dengan duty cycle sebesar 65% dan efisiensi paling buruk adalah berada pada duty cycle 10% dengan nilai efisiensi sebesar 29%.

Kata Kunci — Panel surya, SEPIC converter, MPPT InC, PWM, charging baterai

Abstract

Photovoltaic are power plants that can convert sunlight energy into electrical energy. Photovoltaic is works based on the principle of a semiconductor PN junction, because solar cells use silicon as the main ingredient in its constituent. But in its generation, solar cells are very dependent on weather conditions, so that the distribution to the load is not optimal. So you need to add a method to get maximum power by using the maximum power point tracker (MPPT). This algorithm will be applied to the switching SEPIC converter in the form of PWM waves from the Arduino microcontroller with a frequency of 62.5 kHz in order to increase the voltage or decrease the voltage according to the setpoint. The capacity of battery is 48 Volt 12 Ah. SEPIC converter will increase the voltage of the solar panels which are arranged in series (100Wp each PV) of 31-39 Volts to 55 Volts. The total time needed during battery charging is 8.75 hours. When testing with a 300 Ohm load efficiency is 99% with a duty cycle of 65% and the worst efficiency is at a 10% duty cycle with an efficiency value of 29 percent.

Keywords — Photovoltaic/solar cell, SEPIC converter, MPPT InC, PWM, charging battery

I. PENDAHULUAN

Kondisi pencemaran udara pada saat ini sangat memprihatinkan. Saat ini Indonesia memiliki indeks pencemaran udara 82,32 partikel per meter kubik yang menempati peringkat ke 40 tingkat pencemaran udara di dunia [1]. Pencemaran udara dan kebisingan akibat kegiatan industri dan transportasi meningkat 2 kali pada tahun 2000 dari kondisi tahun 1990 dan diperkirakan akan meningkat 10 kali pada tahun 2020 [2].

Agar emisi gas buang dari kendaraan bermotor dapat berkurang, perlu adanya inovasi kendaraan dengan tenaga listrik yang baru baru ini mulai dikembangkan. Diantaranya adalah sepeda listrik. Kendaraan ini dapat menjadi solusi untuk menggantikan sepeda motor dengan menggunakan bahan bakar minyak. Saat ini sepeda listrik ketika melakukan pengisian baterai masih bergantung pada listrik yang bersumber dari PLN. Baterai ini yang akan digunakan untuk menggerakkan motor DC/BLDC yang digunakan untuk menggerakkan sepeda listrik.

Berdasarkan proyeksi kebutuhan listrik penduduk Indonesia hingga tahun 2024 nanti yakni mencapai 50.000 MW, namun hingga saat ini kebutuhan tersebut masih belum mencukupi sesuai proyeksi yang ada [3]. Namun melihat kondisi pada tahun 2015 yang masih sekitar 84 % rasio elektrifikasi, serta akan sangat mungkin nilai tersebut akan meningkat seiring bertambahnya penduduk maka Indonesia perlu digencarkan pembangunan khususnya energi baru dan terbarukan (EBT) yang lebih ramah lingkungan. Sehingga diharapkan rasio elektrifikasi dapat meningkat hingga keseluruhan daerah di Indonesia bisa teralisi listrik.

Banyak sekali potensi energi alternatif yang dapat dikembangkan di Indonesia, diantaranya adalah energi surya. Agar dapat merubah energi surya menjadi energi listrik, dibutuhkan sebuah panel surya. Energi listrik DC dari panel surya ini yang akan digunakan untuk melakukan charging pada baterai sepeda listrik agar tidak bergantung lagi pada sumber listrik dari PLN. Variasi beban dan cuaca sangat menentukan daya keluaran dari solar cell. Untuk

menanggulangi hal tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan konverter DC/DC tipe SEPIC dengan algoritma MPPT InC (Incremental Conductance) agar solar cell dapat menghasilkan daya yang lebih maksimal. Metode MPPT Perturb and Observe (PO) membuktikan bahwa penambahan algoritma MPPT dapat meningkatkan daya yang dihasilkan TEG [4] Sedangkan pada penelitian ini akan digunakan DC/DC tipe SEPIC, karena dapat bekerja menaikkan dan menurunkan tegangan serta memiliki keluaran yang tidak inverting [5]. Algoritma yang akan digunakan pada penelitian ini adalah incremental conductance (InC). Algoritma tersebut memiliki performa yang lebih baik dibanding dengan algoritma PO [6]. MPPT InC dapat mencari titik daya maksimal lebih akurat dengan respon yang lebih cepat.

II. METODE PENELITIAN

A. Blok Diagram Penelitian

Penelitian tentang Kontrol MPPT InC pada Converter DC/DC Tipe SEPIC Untuk Stasiun Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan Solar Cell. Proses yang terjadi yaitu tegangan keluaran dari panel surya akan masuk pada SEPIC converter agar dapat mengisi baterai 48 Volt. Selanjutnya, pada proses pengisian ini di tambahkan dengan metode kontrol yaitu dengan MPPT InC (Incremental Conductance).

Pada penelitian ini digunakan objek 2 buah solar cell dengan konfigurasi seri sebagai sumber penghasil listrik yang akan digunakan untuk melakukan pengisian baterai sepeda listrik 48 Volt 12 Ah. Diagram blok untuk keseluruhan sistem pada penelitian in ditunjukkan pada Gambar 1.

Panel surya yang digunakan dalam plan ini yaitu panel surya 100Wp polycrystalline sebanyak 2 buah yang dikonfigurasi secara seri. Maka output dari panel surya tersebut yaitu sebesar 31 V – 40 V, sedangkan untuk melakukan charge terhadap sebuah battery maka harus menggunakan tegangan 55 V. Maka dari itu diperlukan SEPIC converter untuk menaikkan tegangannya. SEPIC converter mengatur besarnya berdasarkan duty cycle, sedangkan duty cycle diatur oleh sebuah kontrol yang berupa Arduino UNO R3 berdasarkan besarnya PWM dengan menggunakan kontrol MPPT InC.

Di dalam mikrokontroler Arduino terdapat control agar dapat mengatasi apabila terjadi drop tegangan sehingga mempertahankan output tegangan berada pada set poin. Sensor tegangan dipasang bertujuan untuk mengetahui output tegangan dari panel surya, SEPIC converter dan juga digunakan sebagai input dari Arduino yang berupa ADC (Analog to Digital Converter). Sebagai tambahan maka tegangan keluaran dari SEPIC converter akan di kontrol dengan MPPT InC (Incremental Conductance) agar diperoleh kestabilan tegangan serta daya maksimum ketika melakukan pengisian baterai.

B. Perancangan SEPIC Converter

Berdasarkan hasil pengujian 2 buah PV 100 WP jenis polycrystalline dengan konfigurasi seri, maka dapat diperoleh

spesifikasi SEPIC converter seperti ditunjukkan Tabel 1.. Berdasarkan data spesifikasi pada tabel tersebut, dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai masing-masing komponen converter [7]. Perhitungan dilakukan melalui langkah perhitungan sebagai berikut

Perhitungan Duty Cycle

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} + V_{out} + V_D} \tag{1}$$

Menentukan arus ripple pada induktor

$$\Delta I_L = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in} (Min)} \times 40\% \tag{2}$$

Menentukan besar kapasitas induktor

$$L1 = L2 = \frac{V_{in} (Min) \times D (Max)}{\Delta I_L \times F_{sw}} \tag{3}$$

Menentukan banyak lilitan pada toroid

$$N = 100 \sqrt{\frac{Nilai L (uH)}{AL \left(\frac{2H}{100 \text{turns}}\right)}} \tag{4}$$

Untuk menentukan jenis MOSFET yang digunakan, maka dihitung Arus puncak (peak to peak) sebagai berikut

$$I_L(peak) = I_{out} \times \frac{V_{out} + V_D}{V_{in}(min)} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right)$$

$$I_{L2} (peak) = I_{out} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \tag{5}$$

Menghitung arus RMS pada MOSFET

$$I_{Q1}(rms) = \sqrt{\frac{V_{out} + V_{in} (Min) + V_D + (V_{out} + V_D)}{V^2_{in}}} \tag{6}$$

MOSFET yang digunakan adalah tipe N-Channel, dengan tipe yang memiliki Rds kecil agar tidak menimbulkan rugi-rugi daya yang besar.

Untuk menentukan jenis dioda yang digunakan, maka harus memenuhi persyaratan berikut tegangan minimum tegangan reverse yaitu

$$V_{RD1} = V_{in} (Max) + V_{out} (Max) \tag{7}$$

Kapasitor Input

$$C_{in} = \frac{I_{Cin} (max)}{2 \times f \times \Delta V_{Cin}} \tag{8}$$

Menentukan terlebih dahulu besar nilai arus RMS

$$I_{cs}(rms) = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + V_D}{V_{in} (min)}} \tag{9}$$

Menentukan Cs dengan perhitungan berikut

$$C_S = \frac{I_{cs} \times D_{max}}{f \times \Delta V_{Cs}} \tag{10}$$

Kapasitor Output

Menentukan terlebih dahulu tegangan ripple output

$$V_{ripple} = 2\% \times V_{out} \tag{11}$$



Menentukan besar Cout

$$C_{out} = \frac{I_{out} \times D_{max}}{\text{Ripple} \times f \times VD} \quad (12)$$

Berdasarkan persamaan 1 hingga 12 diperoleh hasil parameter perancangan pada tiap komponen. Terdapat beberapa komponen utama, yaitu induktor 1 dan 2, dioda, MOSFET, kapasitor input, kapasitor coupling dan kapasitor output. Untuk topologi dari SEPIC converter dapat dilihat pada Gambar 2.

C. Algoritma MPPT Incremental Conductance

Penelitian ini menggunakan kontrol MPPT InC yang diaplikasikan pada mikrokontroler Arduino. Algoritma MPPT InC merupakan salah satu metode tracking titik MPP. Algoritma ini menggunakan pengukuran perubahan konduktansi pada generator termoelektrik [8] Bseperti ditunjukkan Gambar 3. Algoritma MPPT InC bekerja dengan menjadikan arus dan tegangan sebagai parameter utama dimana Incremental conductance didefinisikan sebagai (dI/dVtg). Dengan parameter yang berasal dari pengukuran sensor tegangan maupun arus, MPPT InC akan melakukan penjejakan untuk mencari titik daya maksimum pada solar cell.

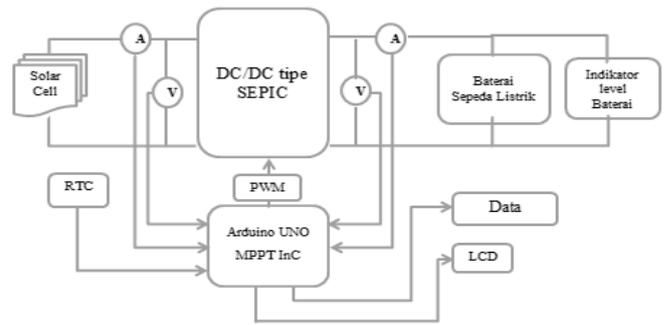
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Karakteristik Solar Cell

Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data dari pukul 07.30 WIB-15.30 WIB. Dengan beberapa parameter yang akan diambil yaitu Voc (tegangan open circuit), Isc (arus short circuit), serta radiasi matahari. Dengan diperolehnya nilai Voc dan Isc maka didapatkan nilai daya maksimum (Pmax). Berdasarkan data (Tabel 2) yang di dapat di ketahui bahwa besarnya daya maksimum (Pmax) akan selalu naik pada setiap jamnya, mulai dari jam 08.00 WIB hingga pukul 09.00 WIB, setelah pukul 09.00 WIB terjadi penurunan dari sebelumnya dikarenakan radiasi matahari yang diterima oleh solar cell berkurang, yaitu 886 W/m2. Pada pukul 11.00 WIB kondisi cuaca menjadi berawan. Radiasi matahari yang akan diterima oleh solar cell terhalang awan sehingga radiasi matahari menjadi lebih kecil dan mengakibatkan daya solar cell menjadi lebih kecil dari sebelumnya. Daya yang sebelumnya mendekati 200 watt turun sangat jauh yaitu 50 watt. Radiasi matahari pada jam tersebut sangat kecil dan hampir sama dengan jam 15.00 WIB yang mengasilkan 50 Watt. Grafik daya maksimum solar cell dapat dilihat pada Gambar 4.

B. Pengujian sensor Tegangan

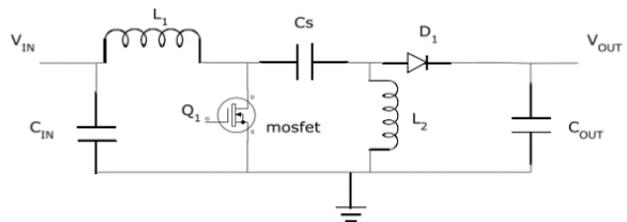
Sensor tegangan di buat dengan menggunakan dua resistor sebagai pembagi tegangan dengan range pembacaan sensor pembagi tegangan yaitu antara 0 volt hingga 230 volt, maka di dapatkan perhitungan resistor adalah sebesar 100 kΩ yang di susun secara seri dengan resistor 2,2 kΩ.



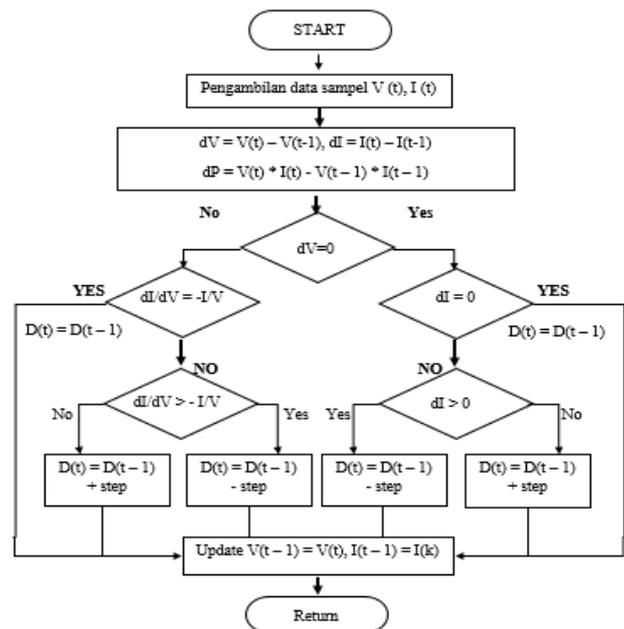
Gbr 1 Blok Diagram Sistem Kontrol MPPT InC pada Converter DC/DC Tipe SEPIC Untuk Stasiun Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan Solar Cell

TABEL I
SPESIFIKASI DC/DC TIPE SEPIC

Parameter	Nilai
Tegangan Masukan	34-39 Volt
Tegangan Keluaran	54 Volt
Arus Keluaran	3 A
Frekuensi Switching	62,5 kHz



Gbr 2 Topologi SEPIC Converter



Gbr 3 Algoritma MPPT InC

Sehingga dapat di peroleh grafik hasil pembacaan sensor tegangan dan digital multimeter yang hasilnya mendekati sama, karena rata-rata *error* persen yang di dapatkan sebesar 0.2473 % seperti pada gambar 5. Dengan rata-rata *error* sebesar 0.2473 % maka grafik yang di dihasilkan akan sangat berhimpitan dan mendekati sama

C. Pengujian Sensor Arus

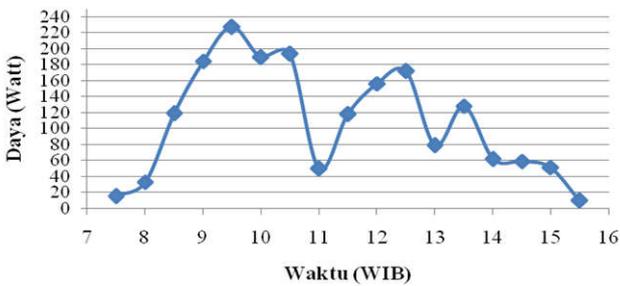
Sensor arus ACS712 berkerja dengan menerapkan hall effect sebagai pengganti resistor *shunt* dan *current transformer*. Arus listrik yang megalir di dalam sensor ACS712 akan mengakibatkan adanya medan magnet yang menginduksi bagian dynamic offset cancellation pada ACS712 yang kemudian di kuatkan oleh amplifier dan kemudian akan di filter sebelum di keluarkan melalui kaki 6 dan 7 pada sensor arus ACS712. Cara untuk mengkalibrasi sensor arus hamper dama dengan sensor tegangan yaitu dengan cara melakukan perbandingan antara arus yang terukur oleh digital multimeter yang terukur dengan nilai ADC yang terbaca oleh sensor arus ACS712 dengan bantuan Arduino. Berdasarkan keseluruhan data di peroleh hasil rata-rata error pembacaan sensor yaitu sebesar 1.6558 % sehingga dapat dibuat grafik perbandingan antara sensor arus dengan digital multimeter, seperti yang terdapat pada Gambar 7 dimana diketahui bahwa hasil grafik yang di dapatkan akan sangat berhimpitan dikarenakan pembacaan rata-rata error dari sensor yaitu sebesar 1.055352 %.



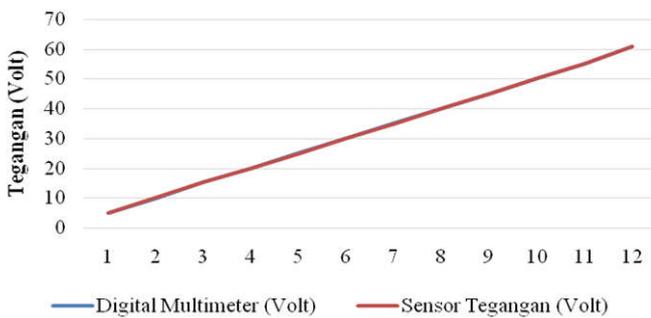
Gbr 6. Hasil Rancangan SEPIC Converter

TABEL III
PENGUJIAN KARAKTERISTIK SOLAR CELL

Jam (WIB)	Voc (Volt)	Isc (A)	Pout (W)	Radiasi (W/m2)	Kondisi Cuaca
7:30	39	0,39	15	179	Cerah
8:00	39,6	0,84	33	420	Cerah
8:30	39,2	3,04	119	584	Cerah
9:00	39,1	4,72	185	839	Cerah
9:30	39,2	5,8	227	892	Cerah
10:00	38,2	4,96	189	886	Cerah
10:30	38,6	5,01	193	886	Cerah
11:00	37,2	1,35	50	124	Berawan
11:30	39,4	2,99	118	271	Berawan
12:00	38,5	4,06	156	882	Cerah
12:30	38,1	4,51	172	828	Cerah
13:00	36,9	2,15	79	201	Berawan
13:30	39,8	3,22	128	637	Cerah
14:00	37,7	1,65	62	213	Berawan
14:30	38	1,56	59	158	Cerah
15:00	38	1,36	52	89	Cerah
15:30	36,6	0,28	10	68	Cerah



Gbr 4. Grafik Karakteristik Solar Cell



Gbr 5. Grafik Perbandingan Sensor Tegangan Dengan Multimeter

TABEL IIIII
PENGUJIAN SENSOR TEGANGAN

Digital Multimeter (Volt)	Sensor (Volt)	Error Persen (%)
5	4.99	0.2
10.02	10.05	0.2994
15.3	15.3	0
20.02	20.09	0.34965
25	25.02	0.08
30.1	30.18	0.26578
35.06	35.1	0.11409
40.17	40.26	0.22405
45.04	45.16	0.26643
50.17	50.32	0.29898
55.03	55.3	0.49064
60.76	60.99	0.37854

D. Pengujian SEPIC Converter

Perancangan SEPIC converter yang di buat disesuaikan berdasarkan parameter yang telah di rencanakan pada bab sebelumnya. Dengan menggunakan acuan perhitungan untuk masing-masing komponen dalam perancangan SEPIC converter. Pengujian SEPIC converter dilakukan dengan menggunakan tegangan masukan yaitu sebesar 31 volt, hal ini di lakukan karena besarnya tegangan yang dihasilkan dari dua buah solar cell sebesar 100 WP (*watt peak*) dengan konfigurasi secara seri dapat menghasilkan tegangan antara 31 Volt hingga 39.1 Volt berdasarkan data pengujian karakteristik solar cell pada tabel 2 dan besarnya tegangan yang sering muncul pada saat pengujian tersebut berkisar lebih dari 31 volt selama dilakukan pengujian sehingga untuk mensimulasikan pengujian SEPIC converter digunakan tegangan masukan SEPIC converter yaitu sebesar 31 Volt.

Berdasarkan Tabel 5 pada pengujian SEPIC converter dengan menggunakan resistor 330 Ohm sebagai *dummy load*, maka range duty cycle pada SEPIC converter bekerja sebagai penurun tegangan pada duty cycle 0% - 50% yang diketahui berdasarkan tegangan keluaran (V_{out}) SEPIC converter masih tetap sama dengan tegangan masukan (V_{in}), sehingga diketahui bahwa SEPIC converter mulai bekerja sebagai penaik tegangan pada duty cycle 50 % hingga 80 %. Pada saat SEPIC converter mulai bekerja yaitu dengan duty cycle diatas 50 % maka dihasilkan V_{out} SEPIC converter sebesar 33.3 Volt dengan arus yang di hasilkan yaitu sebesar 0.099 Ampere.

E. Pengujian Efisiensi SEPIC Converter

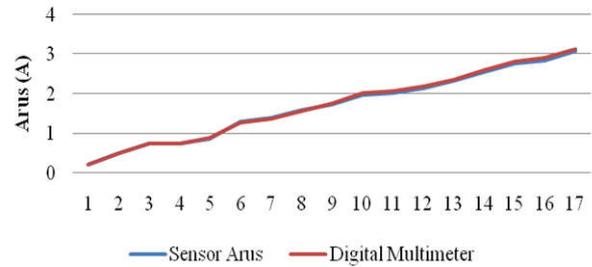
Pengujian selanjutnya yaitu dilakukan untuk mendapatkan daya input dan daya output pada SEPIC converter untuk didapatkan efisiensi pada SEPIC converter. Efisiensi pengujian SEPIC converter dilakukan dengan menggunakan *dummy load* berupa resistor kapur sebesar 330 Ω . Sehingga di dapatkan nilai daya dari perkalian antara V_{in} dan I_{in} , serta V_{out} dan I_{out} , nilai efisiensi didapatkan dari ((daya ouput/daya input) x 100).

Nilai efisiensi pada penelitian ini didapatkan dari perbandingan antara daya output dan daya input dari hasil pengukuran sebelumnya untuk tegangan dan arus pada SEPIC converter. Maka berdasarkan data yang di peroleh pada tabel 6 didapatkan bahwa nilai efisiensi untuk SEPIC converter berada di atas 90 %, dengan variasi duty cycle antara 50 % hingga 80 %. Dengan nilai efisiensi tertinggi yaitu pada saat duty cycle sebesar 65 %, dengan nilai efisiensi yang di dapatkan yaitu sebesar 99.118%.

F. Pengujian SEPIC converter dengan Kontrol MPPT InC

Tahapan pengujian selanjutnya yaitu tentang pengujian SEPIC converter dengan menggunakan metode kontrol MPPT InC, pengujian yang dilakukan yaitu dengan memberikan beban resistif yang berupa resistor kapur, dengan variasi hambaran yang digunakan yaitu sebesar 50 Ω , 100 Ω , 220 Ω dan 330 Ω . Pemberian beban resistif ini disamakan dengan variasi beban yang digunakan saat pengujian SEPIC converter open loop (tanpa menggunakan kontrol). Dimana pada

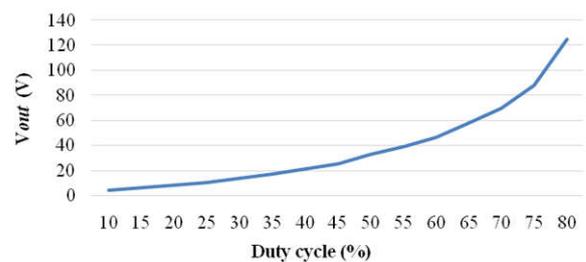
pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara SEPIC converter saat bekerja tanpa kontrol dibandingkan dengan SEPIC converter saat bekerja menggunakan metode kontrol MPPT InC.



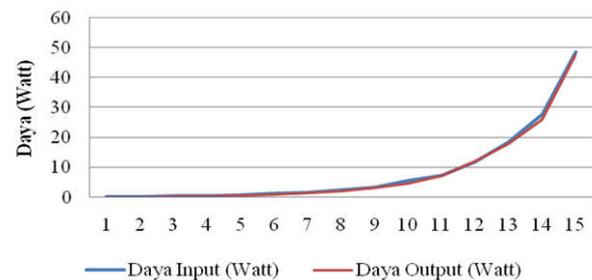
Gbr 7. Perbandingan Sensor Arus Dengan Multimeter

TABEL IVV
PENGUJIAN SENSOR ARUS ACS712

Sensor Arus (A)	Digital Multimeter (A)	Error Persen (%)
0,21	0,213	1,429
0,51	0,498	2,353
0,75	0,739	1,467
0,74	0,749	1,216
0,87	0,886	1,839
1,29	1,277	1,008
1,4	1,381	1,357
1,59	1,573	1,069
1,74	1,764	1,379
1,97	2,01	2,030
2,03	2,07	1,970
2,15	2,181	1,442
2,33	2,363	1,416
2,55	2,597	1,843
2,76	2,812	1,884
2,84	2,922	2,887
3,08	3,128	1,558



Gbr 8. Grafik Hubungan antara Duty Cycle dengan Vout



Gbr 9. Grafik Perbandingan antara Daya Input dengan Daya Output

Untuk pengujian yang pertama yaitu dengan menggunakan beban resistif sebesar 50 Ω, dimana diketahui bahwa pada saat pengujian *open loop* saat dilakukan pembebanan maka tegangan akan terus mengalami drop tegangan, dan akan berbeda saat menggunakan metode kontrol MPPT InC, maka saat dilakukan pembebanan akan terjadi drop tegangan yang kemudian akan kembali lagi pada *set point* dengan cara penambahan PWM sehingga merubah besarnya *duty cycle* pada SEPIC *converter*. Pada saat pengujian menggunakan kontrol MPPT InC diketahui bahwa terjadinya drop tegangan sebelum kembali menuju set point adalah sebesar 9 Volt. Waktu yang di perlukan untuk kembali pada *set point* (*recovery time*) adalah sebesar 171 *milisecond* dengan grafik data pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 10.

TABEL V
PENGUJIAN DUTY CYCLE

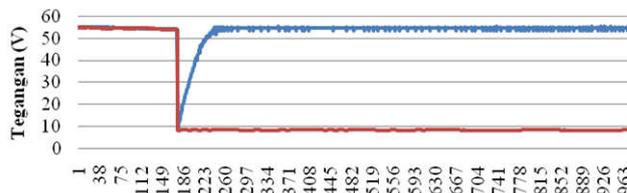
PWM	Duty cycle (%)	Vin (V)	I in (A)	V out (V)	I out (A)
25.5	10	31	0.007	4.6	0.014
38.25	15	31	0.01	6.8	0.02
51	20	31	0.014	9	0.027
63.75	25	31	0.019	11.04	0.033
76.5	30	31	0.027	14.17	0.043
89.25	35	31	0.04	17.52	0.05
102	40	31	0.05	21.77	0.066
114.75	45	31	0.08	26	0.078
127.5	50	31	0.11	33.3	0.099
140.25	55	31	0.178	39.5	0.12
153	60	31	0.235	47.08	0.154
165.75	65	31	0.386	58.14	0.204
178.5	70	31	0.6	70.2	0.254
191.25	75	31	0.9	88.6	0.294
204	80	31	1.57	125	0.38

TABEL VI
PENGUJIAN EFISIENSI SEPIC CONVERTER

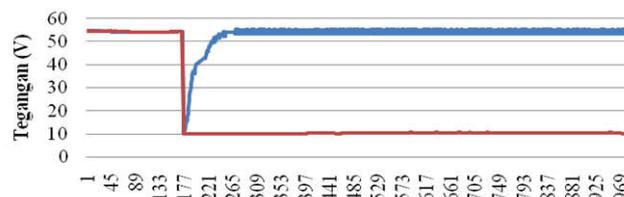
Duty cycle (%)	Daya Input (W)	Daya Output (W)	Efisiensi (%)
10	0.217	0.064	29
15	0.31	0.136	44
20	0.434	0.243	56
25	0.589	0.364	62
30	0.837	0.609	73
35	1.24	0.876	71
40	1.55	1.437	93
45	2.48	2.028	82
50	3.41	3.297	97
55	5.518	4.74	86
60	7.285	7.250	96
65	11.966	11.860	99
70	18.6	17.831	96
75	27.9	26.048	93
80	48.67	47.5	97

TABEL VII
PENGUJIAN SEPIC DENGAN BEBAN RESISTIF

Beban (Ohm)	Drop Tegangan (Volt)	Recovery Time (ms)
50	9	171
100	10	105
220	12	70
330	13	40



Gbr 10. Grafik Output tegangan Beban 50 Ohm



Gbr 11. Grafik Output tegangan Beban 100 Ohm

G. Pengujian SEPIC converter dengan Menggunakan Beban Baterai Sepeda Listrik

Pengujian SEPIC converter yang terakhir adalah dengan pengisian baterai sepeda listrik 48 Volt. Baterai ini terdiri dari 4 baterai dengan tegangan 12 Volt yang dirangkai secara seri. Baterai ini nantinya akan digunakan sebagai aktuator utama sepeda listrik yaitu motor Brushless Direct current (BLDC). Data pengisian baterai dapat dilihat pada Tabel 8.

Pengujian SEPIC *converter* pada hari pertama, maka diketahui bahwa V_{in} dari SEPIC *converter* (tegangan dari panel surya) mengalami drop tegangan rata-rata menjadi sekitar 32 Volt jarena arus charging tinggi, sehingga tegangan panel surya akan menjadi drop. Tegangan input converter dari solar cell yang paling tinggi berada pada saat baterai hampir penuh yaitu mencapai nilai diatas 37 Volt.

Arus *charging* rata-rata pada hari pertama yaitu 2,2 Ampere. Dan untuk besarnya arus *charging* tertinggi yaitu pada jam 09.00 WIB dengan radiasi pada jam tersebut yaitu sebesar 873 Watt/m² dan arus *charging* sebesar 2,58 Ampere. Untuk arus *charging* terendah terdapat pada pukul 14.00 WIB dengan radiasi matahari yang terjadi pada saat itu yaitu sebesar 665 Watt/m² dan didapatkan arus *charging* sebesar 1,42 Ampere. Untuk hari kedua pada tanggal 05 Mei 2019, arus rata-rata pada pukul 09.00 adalah 1,32 Ampere. Arus *charging* pada saat pengujian dipengaruhi oleh radiasi matahari.



TABEL VIII
PENGUJIAN PENGEKASAN BATERAI DENGAN SEPEDA LISTRIK

Tanggal	Jam (WIB)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)	Vbat (V)
28-Apr-19	9.00	32,6	50,03	4,74	2,58	46,3
28-Apr-19	9.15	33,2	50,33	4,61	2,58	46,38
28-Apr-19	9.30	35,6	50,39	4,49	2,48	46,46
28-Apr-19	9.45	35,3	50,42	4,2	2,5	46,54
28-Apr-19	10.00	35,8	50,58	3,98	2,49	46,62
28-Apr-19	10.15	36,1	50,59	3,95	2,38	46,7
28-Apr-19	10.30	36,5	50,74	3,87	2,36	46,78
28-Apr-19	10.45	35,7	51,26	3,97	2,36	46,86
28-Apr-19	11.00	35,7	51,33	3,86	2,31	46,94
28-Apr-19	11.15	35,9	51,46	3,79	2,28	47,02
28-Apr-19	11.30	36	51,74	3,68	2,22	47,1
28-Apr-19	11.45	36,2	51,79	3,64	2,22	47,18
28-Apr-19	12.00	36,3	51,82	4,03	2,18	47,25
28-Apr-19	12.15	36,2	51,93	3,48	2,17	47,34
28-Apr-19	12.30	35,8	52,04	3,52	2,17	47,42
28-Apr-19	12.45	35,8	52,31	3,42	2,1	47,5
28-Apr-19	13.00	36,1	52,45	3,36	2,07	47,58
28-Apr-19	13.15	36,1	52,48	3,31	1,85	47,66
28-Apr-19	13.30	33,4	52,67	3,28	1,81	47,74
28-Apr-19	13.45	35,6	52,84	3,21	1,76	47,82
28-Apr-19	14.00	31,8	52,93	3,2	1,45	47,9
05-Mei-19	9.00	35,8	53,97	2,54	1,32	48,02
05-Mei-19	9.15	34,7	54,18	2,23	1,16	48,12
05-Mei-19	9.30	36,6	54,33	1,84	1,09	48,27
05-Mei-19	9.45	36,5	54,43	1,85	1,08	48,44
05-Mei-19	10.00	36,8	54,57	1,53	0,91	48,59
05-Mei-19	10.15	36,8	54,89	1,51	0,91	49,16
05-Mei-19	10.30	36,9	54,69	1,49	0,87	49,23
05-Mei-19	10.45	32,9	54,77	1,46	0,83	49,37
05-Mei-19	11.00	33	54,89	1,5	0,74	49,44
05-Mei-19	11.15	33,3	55,03	1,09	0,65	49,46
05-Mei-19	11.30	34,3	55,33	1,05	0,59	49,62
05-Mei-19	11.45	37,7	55,45	0,77	0,48	49,86
05-Mei-19	12.00	37,7	55,49	0,6	0,37	50,16
05-Mei-19	12.15	37,8	55,52	0,35	0,22	50,28

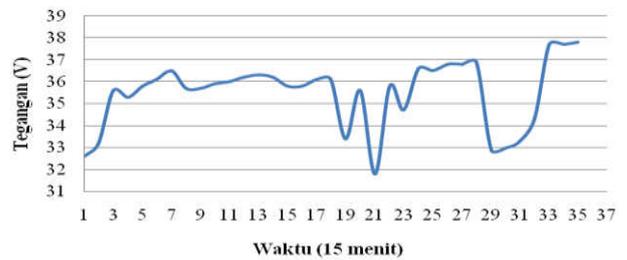
Arus charging juga berbanding lurus dengan lama waktu proses pengisian baterai, semakin lama waktu charging maka semakin kecil arus yang dihasilkan. Pada pukul 12.15 di hari kedua arus charging semakin mendekati nilai 0, yaitu 0,22 Ampere.

Tegangan *charging* yang dihasilkan oleh SEPIC *converter* akan terus menerus naik dari awal pengujian dengan tegangan *charging* yaitu sebesar 50,03 Volt hingga pada terakhir pengujian yaitu dengan tegangan sebesar 52,93 Volt pada hari pertama, tegangan yang dikeluarkan oleh SEPIC *converter* akan berkebalikan dengan arus yang dikeluarkan oleh SEPIC *converter* dimana pada awal *charging* arus yang dihasilkan yaitu sebesar 2,58 Ampere dan akan terus turun hingga menjadi sebesar 1.45 Ampere.

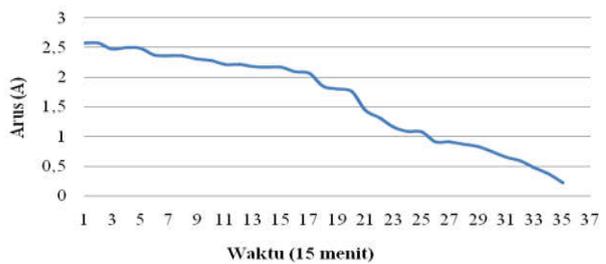
Data pada pengujian hari kedua menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh panel surya telah menjadi lebih besar dibandingkan data pengujian hari-hari sebelumnya, dimana tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh panel surya atau sebaga *input* SEPIC *converter* yaitu 35.77 volt dengan

arus rata-rata yaitu sebesar 1,41 Ampere. Sedangkan untuk tegangan rata-rata yang dikeluarkan oleh SEPIC *converter* yaitu sebesar 54,83 Volt dengan arus rata-rata yang semakin mengecil yaitu sebesar 0.8 Ampere

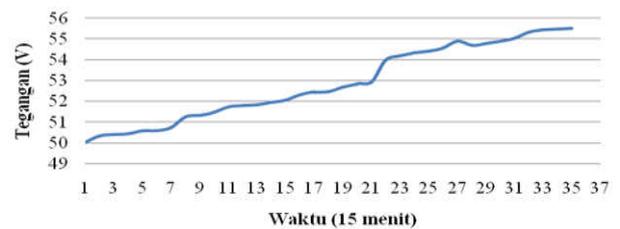
Untuk tegangan baterai yang dihasilkan pada saat kondisi baterai kosong yaitu 46,3. Pada indikator baterai yang ada pada sepeda listrik menunjukkan pada indikator 10 persen. Pada tegangan tersebut saat pengisian baterai membutuhkan arus yang sangat tinggi untuk memulai proses *charging*. Setelah dilakukan pengisian selama 1 jam, tegangan baterai adalah 46, 62 Volt sedangkan arus yang dibutuhkan semakin menurun. Tegangan baterai berbanding terbalik dengan arus yang dibutuhkan untuk melakukan pengisian baterai dan berbanding lurus dengan waktu pengisian baterai. Pada hari kedua saat melakukan pengisian baterai tegangan rata-rata baterai adalah 49,14 Volt. Grafik dari tegangan baterai pada saat dilakukan pengisian adalah sebagai berikut.



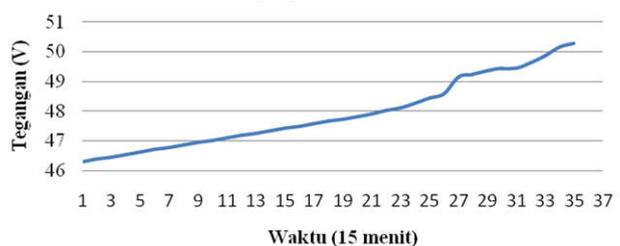
Gbr 12. Grafik Vin SEPIC *converter*



Gbr 13. Grafik Arus *Charging* SEPIC *Converter*



Gbr 14. Grafik Tegangan *Output* SEPIC *Converter*



Gbr 15. Grafik Tegangan Baterai saat Pengisian

Lama waktu yang dibutuhkan untuk proses pengisian baterai adalah 8.75 jam. Pada penelitian ini telah mencapai target yang akan dicapai yaitu mempercepat pengisian baterai dari yang sebelumnya yaitu lebih dari 12 jam. Waktu tersebut hampir mendekati dengan charging dari sepeda listrik yaitu 8 jam. Sedangkan arus charging juga telah memenuhi target. Dimana pada penelitian sebelumnya arus charging yang dikeluarkan adalah 1 Ampere sedangkan pada penelitian ini adalah lebih dari 2 Ampere untuk awal pengisian baterai. Berikut ini merupakan perancangan SEPIC converter.

IV. KESIMPULAN

Nilai efisiensi tertinggi pada SEPIC converter dengan beban 330Ω terdapat pada saat duty cycle 65 % dengan daya input 11.9 watt dan daya output sebesar 11.86 watt, sedangkan untuk efisiensi terendah terdapat saat duty cycle 10 % dengan nilai efisiensi yaitu 29 % dengan daya input sebesar 0.217 watt dan daya output 0.064 watt. Total waktu yang dibutuhkan saat melakukan pengisian baterai adalah 8,75 jam.

REFERENSI

- [1] Numbeo. Pollution index [Place unknown]: [updated 2009-2019; cited 2018 Sep 15]. Available from: <https://www.numbeo.com/pollution/rankings.jsp?title=2018>
- [2] Departemen Kesehatan R.I. 2013. Parameter Pencemaran Udara dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. Jakarta: DepKes RI
- [3] kominfo.go.id. (2016, november 25). kementerian komunikasi dan informatika. Retrieved from kominfo web: https://web.kominfo.go.id/sites/default/files/0510_Kebutuhan_Listrik_Indonesia
- [4] Eakburanawat & Boonyaroonate. (2010). "Development Of 100 W High Efficiency MPPT Power Conditioner and Evaluation of TEG system With Battery Load". Tokyo National College of Technology.
- [5] Chiang, S. J., & Shief, H.-J. (2009). Modeling and Control of PV Charger System With SEPIC Converter. IEEE Transaction on Industrial Electronics, 4344-4353.
- [6] William, I. C., & Ramesh, D. R. (2013). Comparative Stufy of P&O and InC.
- [7] Ranjan, S. B., & Kumar, T. M. (2013). Design of single ended primary inductor dc/dc converter. india: National Institute of Technology.
- [8] Kok, T. S., Mekhilef, S., & Safari, A. (2013). Simple adn low cost incremental conductance maximum power point tracking using buck-boost converter. journal of renewable energy and sustainable energy 5, 1-12.

