



Optimasi Battery Charging pada Pendingin Minuman Dengan Sumber Solar Cell Untuk Beban Peltier Menggunakan Buckboost Converter

Hamzah Maulana Azhar¹

¹Teknik Elektronika, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

¹hamzahmaulanaazhar@gmail.com*

Abstract

Currently, many electronic devices use the energy source from the solar cell which is stored in a battery. The battery is a portable, rechargeable power source. Solar energy is very suitable when converted to electrical energy because the amount of sunlight is infinite even though there is a period of time between sunrise and sunset. Converting solar energy to electrical energy requires a solar cell. One method that can be done is using the buck boost converter method with solar cell sources to create a battery charging control system. The Buck Boost Converter method was chosen because it can stabilize the output voltage from the solar cell when the weather is uncertain. If the light intensity of the sunlight is dim, the output voltage of the panel will also be low, then the converter will be in boost mode to increase the voltage level, on the other hand, if the light intensity of the panel output voltage will also be high, the converter will be in buck mode to lower the voltage level. The output voltage of this control system is maintained according to the battery charging voltage standard, which is 14 volts DC.

Keywords: solar cell, buck boost converter, battery.

Abstrak

Saat ini banyak perangkat elektronik yang menggunakan sumber energi dari *solar cell* yang disimpan dalam sebuah *battery*. *Battery* merupakan sumber listrik portable yang dapat diisi ulang. Energi matahari sangat cocok jika dikonversi ke energi listrik karena sinar matahari jumlahnya tak terbatas meskipun ada kurun waktunya antara terbit sampai terbenam. Proses konversi energi matahari ke energi listrik membutuhkan suatu *solar cell*. Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah menggunakan metode *buck boost converter* bersumber *solar cell* untuk membuat sistem pengendali pengisian *battery*. Metode *Buck Boost Converter* dipilih karena dapat menstabilkan tegangan keluaran dari *solar cell* ketika cuaca tidak menentu. Jika intensitas cahaya matahari redup tegangan keluaran panel juga akan rendah, maka *converter* akan berada dalam mode *boost* untuk meningkatkan level tegangan, sebaliknya jika intensitas cahaya terang tegangan keluaran panel juga akan tinggi, maka *converter* akan berada dalam mode *buck* untuk menurunkan level tegangan. Tegangan *output* dari sistem pengendali ini dijaga sesuai standar tegangan pengisian *battery* yaitu 14 volt DC.

Kata kunci: solar cell, buck boost converter, battery.

Diterima Redaksi : 24-05-2021 | Selesai Revisi : 21-06-2021 | Diterbitkan Online : 30-06-2021

1. Pendahuluan

Selama ini baru ada alat *charging battery* yang hanya berfungsi sebagai regulator tegangan *solar cell* saja. Penelitian sebelumnya telah dilakukan terkait *battery charging* bersumber *solar cell* yang dilakukan oleh Dani S[1] dan Aulia Rizki[2]. Pada penelitian tersebut DC DC *Converter* menggunakan *boost*. Pada penelitian tersebut DC DC *Converter* menggunakan *boost converter*. Namun dengan metode *boost converter* hanya mengandalkan tegangan lebih rendah untuk di regulasi ke level lebih tinggi. Hal itu tentunya akan sangat merugikan karena pada kondisi cuaca yang tidak menentu menyebabkan *output* dari *solar cell* tidak akan mencapai standar tegangan pengisian *battery*. Untuk itu perlu adanya suatu metode yang dapat mengefektifkan

tegangan *output solar cell* karena intensitas cahaya matahari yang berubah – ubah.

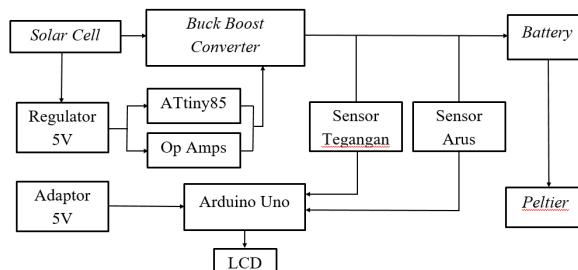
PLTS adalah sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari berupa radiasi sinar foton matahari yang kemudian akan dikonversikan menjadi energi listrik melalui sel surya (*photovoltaic*). Sel surya (*photovoltaic*) sendiri merupakan suatu lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. Sinar matahari yang dimanfaatkan oleh PLTS ini akan memproduksi listrik DC yang dapat dikonversi menjadi listrik AC apabila dibutuhkan. Dan PLTS ini akan tetap menghasilkan listrik meskipun cuaca mendung selama masih terdapat cahaya[3]. Modul *photovoltaic* dengan kapasitas 50 wattpeak. Radiasi matahari rata-rata harian yang didapat sebesar 4,5 kWh/m² yang akan

menghasilkan energi listrik kurang lebih 125 hingga 130 watt-jam[4].

Melalui survei literatur, melaporkan bahwa faktor efisiensi merupakan tantangan terbesar dalam pemanfaatan energi matahari menjadi energi listrik[5]. Sistem penjejak matahari sesuai dengan arah datangnya cahaya matahari diperoleh peningkatan energi matahari sebesar 30 % yang berhasil diubah menjadi energi listrik[6]. Efisiensi energi matahari yang diserap untuk dikonversikan menjadi energi listrik sebesar 90 %[7][8]. Pengendali elektromekanik yang berfungsi menjelajah cahaya matahari diperoleh energi matahari yang maksimum dan berdasarkan hasil penelitiannya diperoleh energi matahari hingga 60 %[9]. Karakteristik listrik dari setiap modul surya tidak identik, perbedaan dalam orientasi dan arah datang sinar matahari ke setiap modul surya, dan sebagainya[10]. Kondisi ketidaksesuaian antar modul surya menyebabkan daya hilang (losses) hampir 25% dalam menghasilkan energi listriknya[11]. Untuk menanganinya, rangkaian elektronika daya yang disebut DC-DC Converter yang sesuai harus dirancang agar dapat mengkompensasi nilai tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1. Blok Diagram



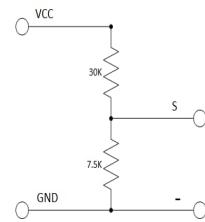
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Gambar diatas menunjukkan blok diagram sistem yang terdiri dari *solar cell*, *buck boost Converter*, ATtiny85, op amps, sensor tegangan, sensor arus, arduino, *battery*, regulator tegangan, *LCD*, dan peltier sebagai beban akhir. Pertama adalah cahaya matahari yang dikonversi oleh *solar cell* menjadi tegangan dan arus. Setelah itu, tegangan dan arus masuk ke regulator LM7805, lalu tegangan diturunkan menjadi 5V untuk mensuplai ATtiny85 dan MCP602 yang berfungsi sebagai pendekripsi tegangan keluaran *solar cell*. Tegangan tersebut masuk ke pin PB2 (gambaranya bisa dilihat di perancangan ATtiny85). Lalu output MCP602 yang berupa tegangan menjadi input pin PB3. Mikrokontroler membaca input pada PB2 dan PB3 lalu membangkitkan sinyal PWM sesuai dengan yang telah di set. Pada pin PB1 mengeluarkan sinyal PWM untuk *switching* mosfet pada kaki gate. Sedangkan pada kaki drain disambungkan ke lilitan untuk mengatur besar kecilnya tegangan output. Apabila mosfet *on*, maka kapasitor akan mengosongkan tegangan. Lalu tegangan tersebut

melewati dioda. Sebaliknya apabila mosfet *off*, maka kapasitor akan mengisi. Keluaran dari *buck boost converter* digunakan untuk pengisian *battery*. Tegangan dan arus yang masuk ke *battery* akan disensor oleh sensor tegangan dan sensor arus kemudian diolah oleh Arduino untuk ditampilkan pada *LCD*. Peltier sebagai beban akhir mendapatkan daya dari *battery* untuk mendinginkan minuman.

2.2. Perancangan Modul Sensor Tegangan

Dalam pembacaan tegangan panel surya oleh ADC mikrokontroller diperlukan sebuah sensor yang dapat menurunkan tegangan menjadi tegangan yang dibutuhkan oleh ADC mikrokontroller, namun tetap dapat mewakili nilai tegangan asli. Oleh karena itu, digunakan prinsip dasar rangkaian listrik *voltage divider* atau pembagi tegangan untuk menurunkan tegangan pada panel surya yang kemudian masuk ke ADC mikrokontroller.



Gambar 2. Rangkaian Dasar Modul Sensor Tegangan

Perhitungan dari nilai resistor yang digunakan pada rangkaian modul sensor tegangan ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \times V_{in} \quad (1)$$

$$5 = \frac{R_2}{R_1+R_2} \times 25$$

$$5R_1 + 5R_2 = 25R_2$$

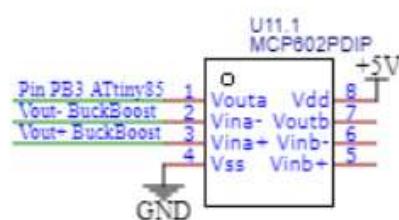
$$5R_1 = 20R_2$$

$$\text{Jika } R_1 = 30k,$$

$$R_2 = \frac{5 \times 30k}{20}$$

$$R_2 = 7k5$$

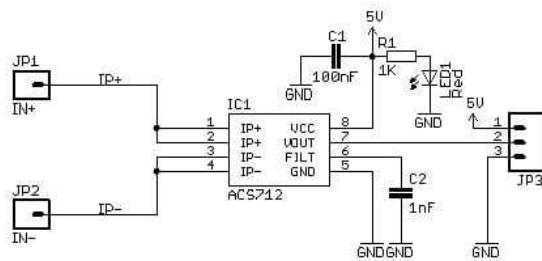
Selanjutnya akan membahas tentang sensor tegangan dengan Op Amps. Op Amps yang digunakan adalah MCP602 yang berfungsi sebagai pendekripsi tegangan keluaran solar cell. Keluaran dari op amps terhubung ke mikrokontroler sebagai masukan yang sudah di *filter*.



Gambar 3. Rangkaian Sensor Tegangan dengan Op Amps

2.3. Perancangan Modul Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan berupa modul sensor arus ACS712 yang memiliki kegunaan untuk mendeteksi besar arus yang mengalir lewat blok terminal. Modul Sensor Arus ACS712 dapat mendeteksi arus hingga 30A dan sinyal arus ini dapat dibaca melalui analog IO port Arduino.



Untuk memprogram ATtiny85 sebagai mikrokontroler dari *buck boost converter* diperlukan langkah-langkah sebagai berikut :

Upload Arduino ISP pada Arduino Uno.

Buka Arduino > Examples > Arduino ISP > Arduino ISP.

Kemudian upload ke Arduino Uno. Tools > Board > Arduino Uno.

Kemudian tekan CTRL + U.

Rangkai ATtiny85 dengan Arduino Uno.

Arduino +5V ---> ATtiny Pin 8

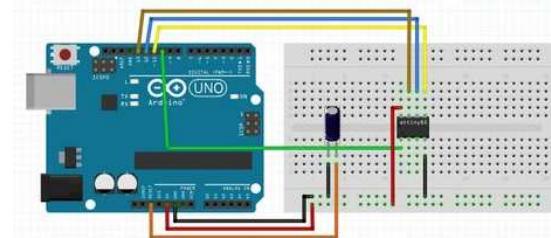
Arduino Ground ---> ATtiny Pin 4

Arduino Pin 10 ---> ATtiny Pin 1

Arduino Pin 11 ---> ATtiny Pin 5

Arduino Pin 12 ---> ATtiny Pin 6

Arduino Pin 13 ---> ATtiny Pin 7



Gambar 7. Wiring ATtiny85 dengan Arduino Uno

Install Board ATtiny pada Arduino.

Listing Program yang digunakan adalah sebagai berikut.

```
int potentiometer = A1;
int feedback = A2;
int PWM = 1;
int pwm = 0;
void setup() {
  pinMode(potentiometer, INPUT);
  pinMode(feedback, INPUT);
  pinMode(PWM, OUTPUT);
  TCCR0A = 2 << COM0A0 | 2 << COM0B0 | 3 << WGM00;
  TCCR0B = 0 << WGM02 | 1 << CS00;
  TCCR1 = 0 << PWM1A | 0 << COM1A0 | 1 << CS10;
  GTCCR = 1 << PWM1B | 2 << COM1B0;
}
void loop() {
  float voltage = analogRead(potentiometer);
  int pwm = map(voltage,0,1024,0,254);
  float output = analogRead(feedback);
  if (voltage > output)
  {
    pwm = pwm+1;
    pwm = constrain(pwm, 1, 254);
  }
  if (voltage < output)
  {
    pwm = pwm-1;
    pwm = constrain(pwm, 1, 254);
  }
  if (voltage > output)
```

```
  {
    pwm = pwm-1;
    pwm = constrain(pwm, 0,254);
  }
  if (voltage < output)
  {
    pwm = pwm+1;
    pwm = constrain(pwm, 0,254)
  }
  analogWrite(PWM,pwm);
}
```

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Solar Cell

Pengujian panel surya ini dilakukan agar dapat mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya dibawah sinar matahari. Pengukuran tegangan dan arus panel surya ini diukur menggunakan multimeter pada waktu yang berbeda-beda. Tabel di bawah merupakan metode pengukuran tegangan dan arus pada panel surya tanpa beban.

Setelah melakukan pengujian tegangan dan arus panel surya, data yang diperoleh dapat ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Tegangan dan Arus Solar Cell 100wp

Waktu	Tanpa Beban	
	Tegangan Output	Arus Output
08:00	19.90 V	2,71 A
08:30	19.27 V	2,45 A
09:00	20.40 V	3,80 A
09:30	20.30 V	3,45 A
10:00	19.80 V	3,09 A
10:30	18.90 V	2,13 A
11:00	19.20 V	2,19 A
11:30	20.10 V	3,24 A
12:00	20.50 V	3,83 A
12:30	20.34 V	3,61 A
13:00	22.00 V	4.20 A
13:30	20.90 V	3,91 A
14:00	20.30 V	3,37 A
14:30	19.70 V	2,85 A
15:00	19.40 V	1,73 A
15:30	19.10 V	1,36 A
16:00	19.01 V	0,63 A
16:30	17.56 V	0.21 A
17:00	7.76 V	0,01 A
17:30	1.61 V	0 A
18:00	0 V	0 A

Dari tabel diatas bisa dilihat bahwa dimulai dari jam 08.00 sampai dengan jam 16.30 tegangan output pada solar cell diatas 14 V yang berarti pada kondisi ini tegangan harus diturunkan yaitu dengan buck mode yang didapat dari buck boost converter, yakni menjadi 14 V sesuai setpoint karena baterai yang mempunyai spesifikasi 12V. Sedangkan pada saat jam mulai masuk jam 17.00, tegangan output pada solar cell dibawah 14V yang berarti pada kondisi ini tegangan perlu dinaikkan yaitu dengan boost mode yang didapat dari buck boost converter. Pada setiap jam, kondisi tegangan dan arus bisa berubah-ubah tergantung pada terik matahari. Pada kondisi matahari yang sangat terik yakni pada jam 13.00, tegangan output yang dihasilkan pada solar cell mencapai 22 V. Sedangkan pada kondisi matahari tidak terik (sore hari) yakni jam 17.00, tegangan output yang dihasilkan pada solar cell hanya 7.76 V.

3.2. Pengujian Sensor Tegangan

Pembagi tegangan digunakan untuk mengetahui nilai tegangan di suatu titik, dimana pada rangkaian pembagi tegangan ini digunakan 2 buah resistor yang dirangkai secara seri. Tujuan dari pengujian pembagi tegangan ini adalah untuk mengetahui apakah hasil V_{out} maksimum yang dihasilkan mencapai 5V, karena tegangan yang dapat diolah oleh ADC mikrokontroler adalah sebesar 5V. Setelah melakukan pengujian pada sensor tegangan, data yang diperoleh dapat ditunjukkan pada tabel 2. Dari tabel 2 bisa disimpulkan bahwa hasil perhitungan (V_{out} teori) tidak pasti sama dengan hasil dari pengukuran menggunakan avometer (V_{out} praktek) karena didapatkan perbedaan hasil perhitungan dan hasil pengukuran dengan error nilai terkecilnya adalah 0% dan error dengan nilai terbesarnya adalah 1.13% pada saat tegangan 22V. Bisa disimpulkan disini bahwa error bisa terjadi kapan saja dan juga bisa tidak terjadi dengan melihat nilai dari nomor 4 ke 5, dan 5 ke 6.

Tabel 2. Pengujian Sensor Tegangan

No	V Input	V Out Praktek	V out Teori	Error	Error (%)
1	0	0	0	0	0.00%
2	4	0.80	0.80	0	0.00%
3	8	1.59	1.60	0.00625	0.63%
4	12	2.39	2.40	0.00416	0.42%
5	16	3.20	3.20	0	0.00%
6	20	4.12	4	0.03	0.3%
7	22	4.45	4.40	0.0113	1.13 %

3.3. Pengujian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor arus ACS712 30A karena arus yang mampu diberikan oleh panel surya 100WP kurang lebih 2A. tujuan dari pengujian sensor arus ACS712 ini adalah untuk mengetahui apakah sensor yang digunakan sudah sesuai dengan yang ditampilkan sehingga terjadi perbedaan nilai error yang sesuai dalam toleransi yang diperbolehkan. Listing program yang digunakan adalah sebagai berikut:

```
void setup() {
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
float average = 0;
for(int i = 0; i < 1000; i++) {
average = average + (.742 * analogRead(A0) -37.8);
delay(1);
}
Serial.print("Current :");
Serial.print(average/1000);
Serial.println("A");
```

Setelah melakukan pengujian pada sensor arus, data yang diperoleh dapat ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Sensor Arus

No	I Out Praktek	I Out Terbaca	Error	Error (%)
1	0.10	0.10	0	0%
2	0.30	0.30	0	0%
3	0.50	0.50	0	0%
4	0.70	0.72	0.028	2.8%
5	0.90	0.92	0.022	2.2%
6	1.10	1.12	0.018	1.8%
7	1.30	1.32	0.015	1.5%
8	1.45	1.46	0.006	0.6%

Dari tabel diatas bisa ditarik kesimpulan bahwa hasil pengukuran menggunakan avometer dan hasil pengujian sensor arus menggunakan program ada sebuah error. Pada nomer 1,2, dan 3 dengan arus kecil masih belum ada error, tetapi saat memasuki nomer 4 dengan arus yang sudah mulai besar, baru menemukan error. Masuk ke nomer 5 dan seterusnya error semakin kecil.

3.4 Pengujian Buck Boost Converter

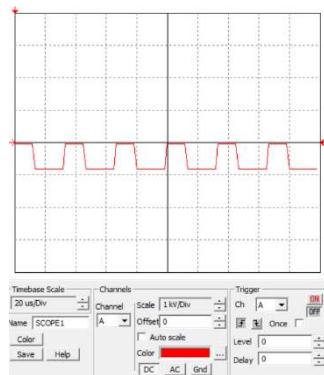
Pengujian ini dilakukan agar dapat mengetahui output yang dihasilkan oleh *buck boost converter*, bentuk sinyal PWM serta frekuensi sinyal PWM yang dihasilkan dari mikrokontroler. Pengujian dilakukan dengan cara melihat sinyal yang dihasilkan dari mikrokontroler menggunakan *oscilloscope*. Dengan menggunakan *oscilloscope* maka sinyal dapat dilihat bentuk, frekuensi dan juga tegangan sinyal yang

dihasilkan. Bentuk sinyal PWM dapat dilihat dengan cara mengganti nilai *duty cycle*.

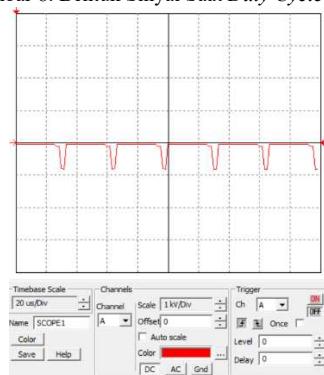
Setelah melakukan pengujian pada sensor tegangan, data yang diperoleh dapat ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Buck Boost Converter

No.	Tegangan Input	Duty Cycle	Tegangan Output
1	19V	10%	2.1V
2	19V	20%	4.75V
3	19V	30%	8.14V
4	19V	40%	12.66V
5	19V	50%	19V
6	19V	60%	28.5V
7	19V	70%	44.33V
8	19V	80%	76V
9	19V	90%	171V



Gambar 8. Bentuk Sinyal Saat Duty Cycle 10%



Gambar 9. Bentuk Sinyal Saat Duty Cycle 80%

Setelah melakukan pengujian, didapatkan hasil seperti tabel diatas bahwa saat *duty cycle* dibawah 50%, maka *output* tegangan yang dihasilkan akan lebih kecil dari tegangan *input*. Sebaliknya, saat *duty cycle* diatas 50% maka *output* tegangan yang dihasilkan akan lebih besar dari tagangan *input*. Semakin kecil *duty cycle* yang dihasilkan oleh mikrokontroler, maka *output* tegangan yang dihasilkan juga kecil. Sebaliknya, jika *duty cycle* yang dihasilkan oleh mikrokontroler besar, maka *output* tegangan juga akan besar. Sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler sudah sesuai dengan spesifikasi alat. Sinyal PWM yang dihasilkan juga sudah sesuai

ketika *duty cycle* diubah persentasenya serta tidak terlihat adanya *noise* ketika dilihat di *oscilloscope*. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa sinyal PWM yang dihasilkan dapat dipakai sebagai masukan mosfet untuk melakukan proses *switching*.

3.5 Pengujian Converter untuk Charging Baterai

Tujuan dilakukan pengujian *converter* untuk *charging* baterai ini adalah untuk mengetahui apakah *buck boost converter* sudah bisa dilakukan untuk pengisian baterai. Peralatan yang diperlukan pada pengujian ini yaitu *solar cell*, rangkaian *buck boost converter* dengan beban yang digunakan adalah *battery* 12V/5Ah.

Setelah melakukan pengujian *charging* baterai, data yang diperoleh dapat ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Converter Untuk Charging Baterai

Jam	Arah Matahari terhadap Solar Cell	Tegangan Input	Duty Cycle	Tegangan Output	Arus Output
12.00	120°	20.3 V	40.9%	14,06 V	1,82 A
12.30	115°	20.5 V	40.8%	14,16 V	1,60 A
13.00	110°	22 V	39.3%	14,27 V	1.19 A
13.30	105°	20.9 V	40.4%	14,20 V	0,90 A
14.00	100°	20.2 V	41%	14,04 V	0,66 A
14.30	90°	20.1 V	41.1%	14,03 V	0,30 A
15.00	75°	20 V	41.1%	14,01 V	0,06 A
15.30	60°	19.1 V	42.2%	14,00 V	0 A

Setelah melakukan pengujian *charging battery* dengan arah awal *solar cell* yang menghadap ke arah barat (120° terhadap sinar matahari) pada saat waktu terik matahari sesuai data di pengujian *solar cell* yakni jam 12.00 sampai jam 15.30, diperoleh data bahwa *converter* sudah dapat melakukan pengisian *battery* dalam waktu ±4 jam dengan optimal dimana output tegangan stabil diangka 14V dengan tegangan input awal sebesar 20.3V dan arus output awal sebesar 1,82 A dengan rata-rata *duty cycle* yang dihasilkan oleh mikrokontroler sebesar 40%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan rangkaian *buck boost converter* dengan menggunakan komponen *fast switching* sangat berpengaruh terhadap *battery charging*. Dengan menggunakan AKI 5AH kondisi kosong dapat mencharging hingga penuh dalam waktu ±4 jam dengan kondisi arus charging awal sebesar 1.82 A, dengan daya dari *buck boost converter* yang terserap sebesar 25.6 watt (14.06 V, 1.82 A).

Daftar Rujukan

- [1] Dany, Rizka., 2012. Rancang Bangun Kontroler Baterai Charger Untuk Solar Cell . Tugas Akhir, D3 Teknik Elektro, Surabaya.

- [2] Aulia Rizki., 2012 " Battery Charger Dengan Converter Boost ",
Tugas Akhir, PENS, Surabaya.
- [3] Tjok Gd. Visnu Semara Putra. 2015. Analisa Unjuk Kerja
Pembangkit Listrik Tenaga Surya 15 KW Di Dusun Asah Teben
Desa Datah Karangasem. (Bachelor thesis). Bali: Universitas
Udayana.
- [4] R. Salman., 2013 .Analisis Perencanaan Penggunaan Sistem
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (SOLAR PV) Untuk
Perumahan (Solar Home System). Majalah Ilmiah Bina Teknik,
vol. 1(1), pp. 46–51.
- [5] A. Najmurrakhman dan M. Fajrin., 2010. Prototipe Penjejak
Cahaya Matahari untuk Mempertinggi Efisiensi Penyerapan
Energi Matahari pada Solar Cell, Prosiding Seminar Nasional
Energi, Jurusan Fisika Unpad, 3 November 2010 hlm.145 – 150.
- [6] M. R. I. Sarker, Md. Riaz Pervez, and R.A Beg., 2010. Design,
Fabrication and Experimental Study of a Novel Two-Axis Sun
Track. International Journal of Mechanical & Mechatronics
Engineering IJMME-IJENS Vol. 10 No. 01, ISSN: 2077-124X,
February 2010, pp. 13 – 18.
- [7] J. H. Karp, E. J. Tremblay, and J. E. Ford., 2010. Planar micro-
optic solar concentrator, Optics Express, Vol. 18, Issue 2, 2010,
pp. 1122-1133.
- [8] R. H. Y. Perdana and F. Fibriana, "An intelligent switch with
back-propagation neural network based hybrid power system," in
Journal of Physics: Conference Series, 2018, vol. 983, no. 1.
- [9] T. T. N. Khatib, A. Mohamed, R.J. Khan and N. Amin., 2009. A
novel active sun tracking controller for photovoltaic panels. J.
Applied Sci., 9, 2009, pp. 4050 – 4055.
- [10] X. Xiaoli dan Q. Daoe., 2011. Remote Monitoring and Control of
Photovoltaic System Using Wireless Sensor Network.
International Conference on Electric Information and Control
Engineering (ICEICE), Wuhan, China, 15-17 April 2011, pp. 633-
638.
- [11] E. Roman, E., et al., 2006. Intelligent PV Module for Grid-
connected PV Systems. IEEE Trans. on Industrial Electronics,
vol. 53, no. 4, April 2006, pp. 1066-1073.