

Sistem Baterai Charging pada *Solar Energy System* dengan Buck Boost Converter untuk Berbagai Tingkat Pencahayaan Di Bandar Udara

SUWITO¹⁾, SUHANTO²⁾, KUSTORI³⁾

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan (ATKP) Surabaya

E-mail: mas.suwito@gmail.com

Abstrak—Indonesia memiliki kurang lebih 237 bandara, sebagai wilayah di daerah khatulistiwa memiliki potensi sumber energi dari matahari yang cukup besar dan dapat digunakan untuk mensuplai energi listrik di bandara terutama di pedalaman. Pemanfaatan energi matahari menggunakan solar cell memerlukan media penyimpanan berupa baterai dan sebuah charge controller. Saat ini charge controller yang banyak digunakan adalah jenis regulator tegangan konvensional dimana proses charging berlangsung hanya saat tegangan luaran solar cell (tegangan masukan regulator) diatas tegangan charging baterai. Sehingga saat solar cell tertutup awan, saat pagi atau sore dimana intensitas cahaya matahari sangat rendah, charging baterai akan berhenti. Akibatnya saat musim penghujan, proses charging baterai pada sistem bekerja tidak maksimal.

Pada penelitian ini dibuat sebuah sistem battery charging dengan buck-boost converter. Sistem battery charging ini merupakan sistem pengendali close loop, mikrokontroler sebagai pusat kendali dengan sinyal balikan dari sensor arus dan tegangan yang ada pada luaran solar cell dan masukan baterai. Tegangan luaran sistem ini dijaga sesuai standar tegangan pengisian baterai. Meskipun luaran tegangan dari solar cell dibawah atau diatas tegangan pengisian baterai, luaran sistem battery charging ini tetap konstan dan stabil.

Hasil pengujian battery charging menunjukkan efisiensi sistem 78 % saat intensitas matahari tinggi yaitu pada pukul 10.00 sampai 14.00 dan secara keseluruhan tegangan charging rata-rata sekitar 13,6 Volt dengan arus charging rata – rata 1 A. Charging battery 12 Volt membutuhkan waktu kurang lebih 5 jam..

Kata kunci : Solar Cell, Mikrokontroler, BuckBoost Converter, Battery Charging.

I. PENDAHULUAN

Tahun 2016 lalu Kementerian ESDM mengalokasikan dana sebesar Rp 1,4 triliun untuk pengembangan aneka energi terbarukan, diantaranya untuk pemasangan solar cell atau panel surya dikantor-kantor pemerintahan, bandara, hingga Lembaga Pemasarakatan (LP). Perangkat elektronik yang menggunakan sumber energi dari solar cell disimpan dalam sebuah baterai. Baterai merupakan sumber listrik portable yang dapat di isi ulang. Penggunaan listrik PLN untuk pengisian baterai secara terus menerus akan mengakibatkan pemborosan energi listrik dari PLN. Agar tidak terjadi pemborosan energi listrik maka digunakan energi alternatif yang terbarukan. Sebagai negara

beriklim tropis, Indonesia banyak energi alternatif yang bisa dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi energi listrik, misalnya angin, cahaya matahari, ombak dan sebagainya. Energi matahari sangat cocok jika dikonversi ke energi listrik karena sinar matahari jumlahnya tak terbatas. Pengkonversian energi matahari ke energi listrik menggunakan solar cell. Karena tegangan solar cell berubah terhadap intensitas cahaya matahari, maka diperlukan sebuah metode untuk mengkonversi agar dihasilkan luaran tegangan yang stabil.

Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah menggunakan metode buck boost converter bersumber solar cell untuk membuat sistem pengendali pengisian baterai. Metode Buck Boost

Converter dipilih karna 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 baterai yaitu 13,6 volt DC.

II. TEORI

A. 2.1. Solar Cell [1]

Solar cell, atau *Photovoltaic*, adalah perangkat listrik yang mengubah energi cahaya menjadi energy listrik oleh efek *photovoltaic*. *Solar cell* terbentuk dari susunan balok modul *photovoltaic*, atau dikenal sebagai panel surya. Konvensi energi Photovoltaic dalam solar cell adalah penyerapan cahaya matahari yang menghasilkan *hole* dan *electron*. Electron dan hole inilah yang menimbulkan beda potensial dan jika dibuat rangkaian tertutup akan menghasilkan arus listrik.

2.1.2. Baterai Charging[2].

Baterai atau akumulator adalah sebuah sel listrik di mana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Proses pengisian baterai adalah proses untuk menempatkan energi ke dalam sel sekunder atau baterai isi ulang dengan mentransfer arus listrik. Pengisian baterai tergantung dari ukuran dan jenis baterai yang sedang diisi. Secara sederhana, proses pengisian baterai isi ulang adalah dengan memasukkan arus secara terus-menerus pada baterai sehingga tegangan bertambah hingga batas tertentu. Proses pengisian baterai secara berlebihan dapat merusak baterai sehingga umur baterai tidak dapat bertahan lama. Secara sederhana, proses pengosongan baterai isi ulang adalah dengan cara menghabiskan arus pada baterai sehingga muatan pada baterai berkurang yang menyebabkan tegangan baterai semakin menurun pada batas tertentu.

Kapasitas energi yang disimpan (C) dari sebuah baterai diukur dalam ampere hours atau mA hours. Pada kebanyakan kasus, mode trickle charging (slow rate) dengan laju I, sumber arus sebesar C/100 hingga C/10 akan menyebabkan baterai selalu dalam kondisi yang baik untuk waktu yang lama sedangkan pada mode fast charging dapat menimbulkan panas sehingga gas kimia yang ada pada baterai dapat bereaksi akan menyebabkan baterai akan cepat rusak. C-Rate merupakan definisi untuk arus pengisian dan pengosongan baterai isi ulang. C-Rate dapat dirumuskan menjadi hour

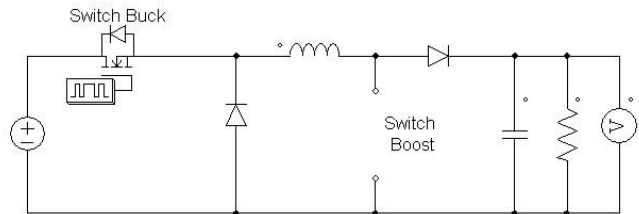
$$C_{Rate} = \frac{C}{1 Hour} \dots\dots\dots (2.1)$$

2.1 Buck- Boost Converter [2]

Buck Boost Converter berfungsi untuk mengubah level tegangan DC, baik ke level yang lebih rendah dan ke level yang lebih tinggi. Rangkaian Non-inverting Buck-Boost (NIBB) menggunakan dua buah *switch mode buck* dan *switch mode boost*. Rangkaian NIBB mempunyai tiga mode pengoperasian, yakni mode *buck* , *boost* dan *buck-boost*. Ketika tegangan input dibawah tegangan yang diinginkan maka rangkaian akan berubah menjadi *mode boost*. Sebaliknya ketika tegangan input diatas tegangan yang diinginkan, maka mode akan berubah ke mode *buck*.

MODE BUCK

Pada mode *buck*, *Switch buck* akan mendapat sinyal *switching PWM1*, sedangkan *Switch boost* pada kondisi *open*.



Gambar 2.2 Rangkaian *Non Inverting Buck Boost*

Converter mode buck Saat *switch buck* kondisi ON (**close**), dioda 1 bekerja *reverse-bias* dan dioda 2 bekerja *forward bias*, sehingga arus akan mengisi induktor sekaligus menyuplai beban.

APPROACH

$$V_i = VL + V_o \dots\dots\dots (2.2)$$

$$VL = L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$V_i = L \frac{\Delta i}{t_{on}} + V_o \dots\dots\dots (2.4)$$

Saat *switch buck open*, dioda 1 dan diode 2 bekerja *forward-bias*, arus yang tersimpan di induktor akan menyuplai beban (*discharging*).

$$V_o = -VL \dots\dots\dots (2.5)$$

$$V_o = -L \frac{di}{t_{off}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Sehingga persamaan V_{out} adalah:

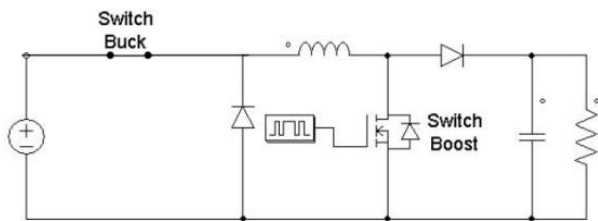
$$V_i = V_o \frac{t_{off}}{t_{on}} + V_o \dots\dots\dots (2.7)$$

$$V_i = V_o \left(\frac{t_{off}}{t_{on}} + 1 \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

$$V_{out} = V_{in} \cdot D \dots\dots\dots (2.9)$$

MODE BOOST

Pada mode boost, *switch boost* mendapat sinyal switching PWM2 dan *switch buck* selalu close.



Gambar 2.5 Rangkaian *Non Inverting Buck Boost Converter* mode boost

Saat *switch boost* pada kondisi ON (*close*), D1 dan D2 bekerja *reverse-bias*, sehingga arus akan mengisi induktor. Polaritas induktor pada sisi kiri lebih positif dibandingkan sisi kanannya.

$$V_i = VL \dots\dots\dots (2.10)$$

$$V_i = L \frac{di}{t_{on}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$V_i \cdot t_{on} = L \Delta i \dots\dots\dots (12)$$

Saat *switch boost open* maka D1 bekerja *reverse bias* dan D2 bekerja *forward-bias*, arus yang tersimpan di induktor akan berkurang karena impedansi yang lebih tinggi. Berkurangnya arus pada induktor menyebabkan induktor tersebut membalik polaritasnya (lebih negatif dari sisi kiri) sehingga arus yang mengalir pada dioda dan pada beban adalah penjumlahan antara arus pada sumber dan arus pada induktor. Disaat yang bersamaan kapasitor akan melakukan penyimpanan energi dalam bentuk tegangan. *Boost Converter* memiliki luaran lebih tinggi dibandingkan tegangan *input*.

$$V_o = V_i + VL \dots\dots\dots (2.13)$$

$$V_o = L \frac{\Delta i}{t_{off}} + V_i \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan persamaan nilai V_{out} adalah sebagai berikut:

$$V_o = V_i + V_i \frac{t_{on}}{t_{off}} \dots\dots\dots$$

$$V_o = V_i \left(1 + \frac{t_{on}}{t_{off}} \right) \dots\dots\dots (2.15)$$

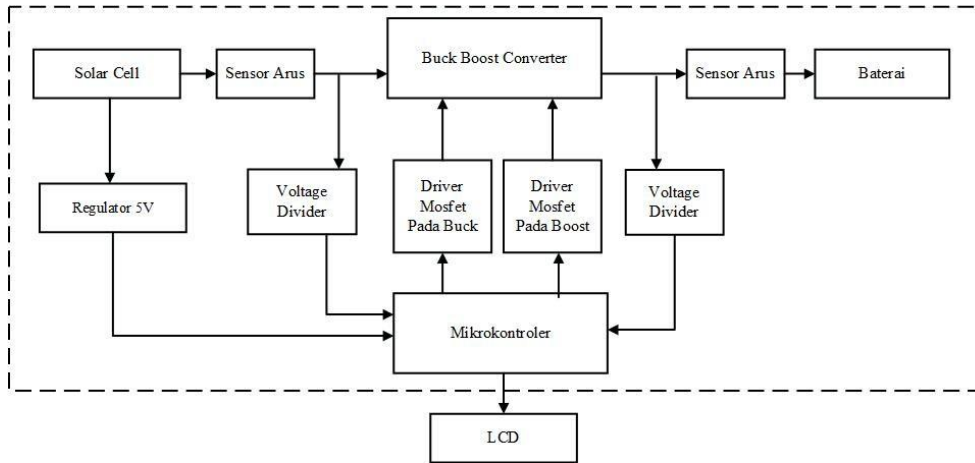
$$V_o = V_i \frac{1}{(1-D)} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$(2.17)$$

VI. III. PERANCANGAN SISTEM

A. 3.1 Diagram Blok Sistem

Diagra fungsional sistem baterai charging dengan buck boost converter untuk berbagai tingkat pencahayaan seperti pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Blok Fungsional sistem baterai charging dengan buck boost converter untuk berbagai tingkat pencahayaan

Sistem battery charging menggunakan solar cell sebagai sumber energi listrik. Tegangan luaran solar cell berkisar 0-21 Volt maka diperlukan rangkaian buck boost converter untuk menstabilkan tegangan. Tegangan luaran solar cell dikontrol agar stabil di 13,6 volt sebagai standart pengisian baterai.

Pusat pengendali sistem battery charging menggunakan Mikrokontroler. Sumber tegangan Mikrokontroler berasal dari luaran solar cell yang diregulasi dengan dc to dc voltage regulator. Mikrokontroler menghasilkan PWM untuk mengatur switch mosfet pada buck boost converter. Terdapat dua mosfet pada buck boost converter, yaitu mosfet untuk buck dan mosfet untuk boost. Ketika tegangan luaran solar cell dibawah 13,6 volt, maka mosfet mode buck selalu ON dan MOSFET mode boost switching. Sebaliknya ketika tegangan luaran solar cell diatas 13,6 volt, maka mosfet mode buck switching dan mosfet mode boost OFF.

Voltage divider mengirimkan sinyal ke mikrokontroler untuk mengubah duty cycle PWM secara otomatis. Sensor arus mengirim sinyal ke mikrokontroler untuk menunjukkan arus yang mengalir pada sumber dan luaran buck boost converter. Tegangan luaran yang telah stabil sebesar 13,6 volt digunakan untuk mengisi baterai.

yang digunakan adalah ATMEGA 328. Sistem ini terhubung dengan beberapa perangkat pendukung seperti pada Tabel 3.1.

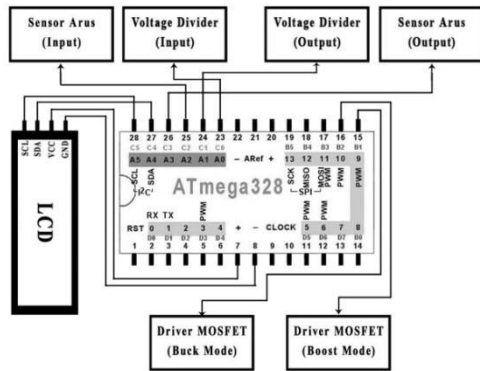
Tabel 3.1 Konfigurasi Port Mikrokontroler

No	Pin Arduino	Keterangan
1	Pin A0	Voltage Divider 1 (input)
2	Pin A1	Voltage Divider 2 (output)
3	Pin A2	Sensor Arus 1 (input)
4	Pin A3	Sensor Arus 2 (output)
5	Pin 9	PWM mode buck
6	Pin 10	PWM mode boost
7	Pin SDA,SCL	LCD

B. 3.2 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

1) 3.2.1. Sistem Mikrokontroler

Pada penelitian ini mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Jenis mikrokontroler



Gambar 3.2. Rangkaian Sistem Mikrokontroler

3.2.2. Perancangan Buck-Boost converter
Perancangan buck-boost converter didasarkan beberapa parameter masukan dan luaran dari buck boost yang akan di desain, adapun parameter tersebut seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Perhitungan Buck Boost converter

P (daya)	27 Watt
Vinput (tegangan input minimal)	7 V
Vinput (tegangan input rata rata tinggi)	17 V
Voutput (tegangan output yang diinginkan)	13,6 V
Ripple Tegangan Output	1%
Ripple Arus Induktor	10%
Io	2 A
Rbeban	12 Ω

Berikut perhitungan untuk menentukan nilai dari komponen-komponen yang digunakan :

1. Perhitungan dengan input 7 Volt
a. Menentukan nilai Duty Cycle

$$V_o = \frac{1}{1-D} V_i \dots\dots\dots (3.1)$$

$$13,6 = \frac{1}{1-D} 7$$

$$D = 0,48$$

- b. Menentukan nilai induktor

$$I_o = I_c = 2 A$$

$$I_l = I_o + I_i = 2 + 2 = 4 A$$

$$L = \frac{V_i \times D}{\Delta I_{lpp} \times f_{sw}} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$= \frac{7 \times 0,48}{0,1 \times 4 \times 15000} = 560 \mu H$$

- c. Menentukan nilai kapasitor

$$C = \frac{I_o \times D}{\Delta V_{c_{pp}} \times f_{sw}} \dots\dots\dots$$

$$= \frac{2 \times 0,48}{0,01 \times 13,6 \times 15000} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$= 470 \mu F$$

2. Perhitungan dengan input 17 Volt

- a. Menentukan nilai Duty Cycle

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$D = \frac{13,6}{17}$$

$$D = 0,8$$

- b. Menentukan nilai induktor

$$L = \frac{V_o(1-D)}{\Delta I_{lpp} \times f_{sw}} \dots\dots\dots$$

$$= \frac{13,6(1-0,8)}{0,1 \times 2 \times 15000} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$= 906 \mu H$$

- c. Menentukan nilai kapasitor

$$C = \frac{\Delta I_{lpp}}{8 \times \Delta V_{c_{pp}} \times f_{sw}} \dots\dots\dots$$

$$= \frac{0,1 \times 2}{8 \times 15000 \times 13,6 \times 0,01} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$= 12 \mu F$$

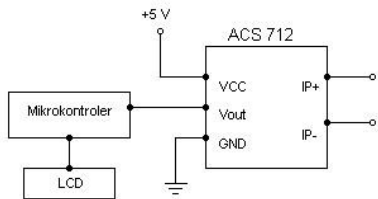
Dari perhitungan buck boost converter dipilih nilai induktor terkecil 560 mikroHenry dan nilai kapasitor terbesar 470 mikroFarad. Induktor yang digunakan menggunakan jenis toroida dengan spesifikasi sebagai berikut: - Diameter luar toroida = 575 mm

- Diameter dalam toroida = 36 mm
- Ketebalan toroida = 145 mm
- Relative magnetic permeability (μ) = 52
- Diameter kawat = 1.2 mm - Jumlah lilitan = 88 lilitan.

Pada rangkaian buck boost konverter ini menggunakan 2 buah solid state switch berupa transistor MOSFET, bagian buck menggunakan MOSFET tipe P yaitu IRF9640 dan bagian boost menggunakan MOSFET tipe N yaitu IRF4905.

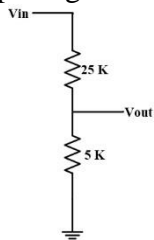
2) 3.2.3. Perancangan sensor arus dan tegangan

Sensor arus dan sensor tegangan digunakan untuk mengukur besarnya arus dan tegangan pada luaran solar cell dan besarnya arus charging pada baterai. Sensor arus pada sistem ini menggunakan tipe ACS712, diaman sensor ini menggunakan prinsip efek hall. Luaran sensor ini adalah sinyal analog dengan range tegangan 0-5 VDC. Rangkaian sensor arus seperti pada gambar 3.3, diaman luaran sensor arus solar cell masuk ke port A2 dan sensor arus pada luaran buck-boost masuk ke port A3 pada mikrokontroler.



Gambar 3.3 Rangkaian Sensor Arus

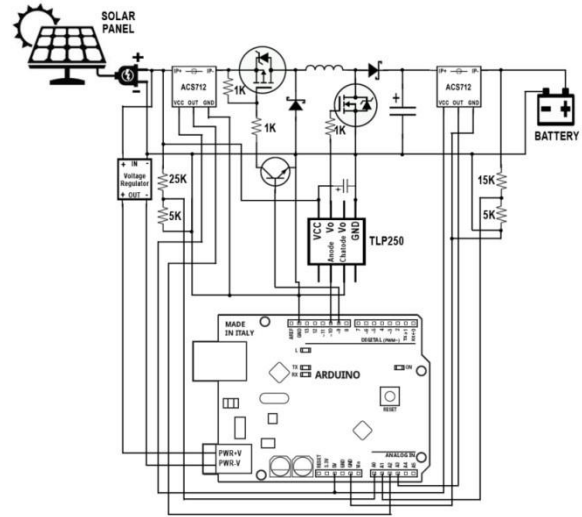
Sistem pengukuran tegangan pada sistem ini menggunakan rangkaian pembagi tegangan seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian sensor tegangan

Luaran sensor tegangan solar cell masuk ke port A0 dan luaran sensor tegangan pada luaran buckboost pada port A1 pada mikrokontroler.

Hasil integrasi perangkat keras dari sistem *Battery Charging* ini seperti pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Rangkaian Sistem *Battery Charging*

C. 3.3 Perancangan Perangkat Lunak (software)

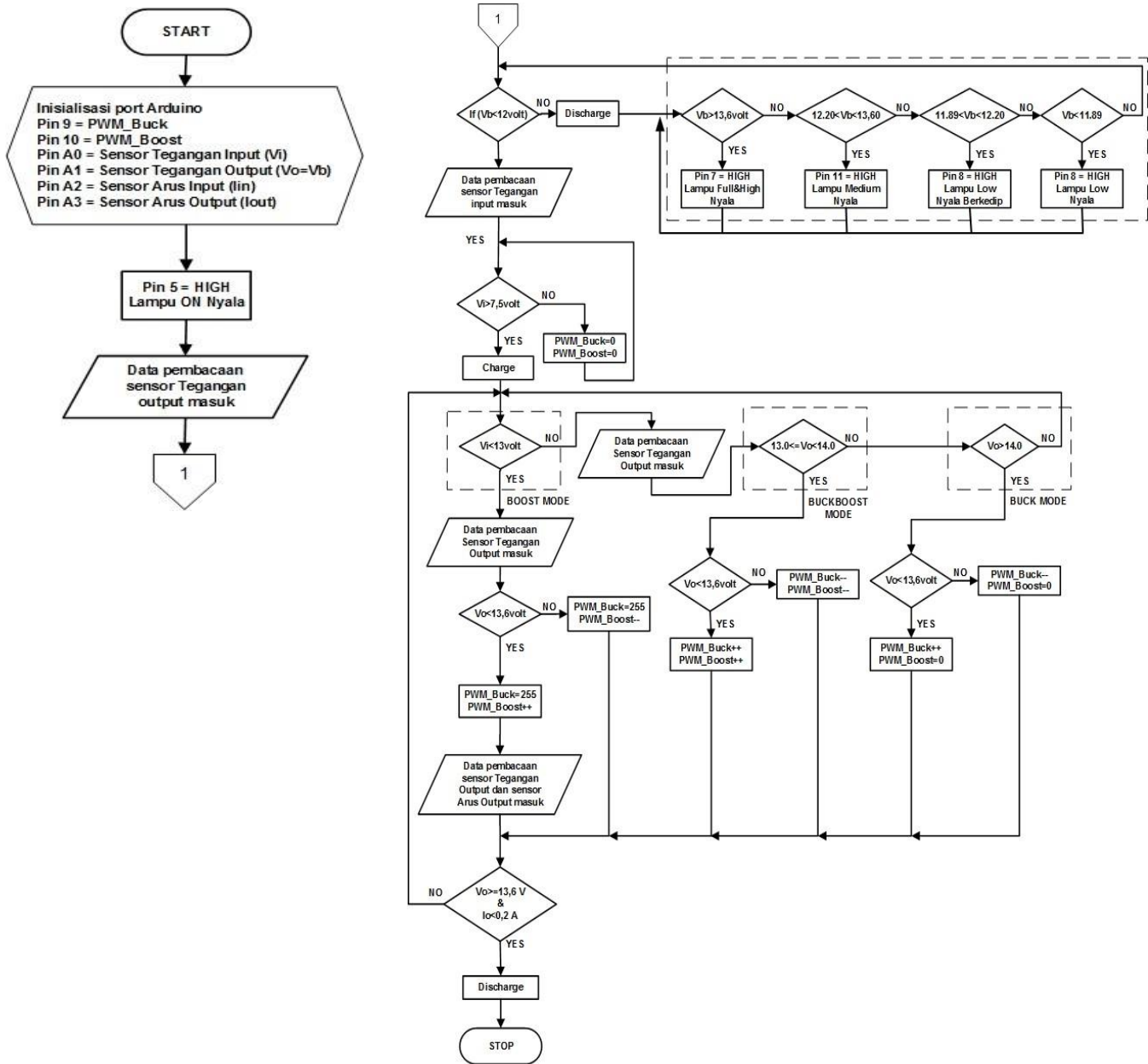
Bagian perangkat lunak merupakan algoritma pengontrolan pada sistem battery charging ini. Algoritma pengendalian tegangan charging seperti pada flow chart digambar 3.6. Penjelasan *flow chart* tersebut adalah sebagai berikut: 1. Start adalah ketika program dimulai

2. Inisialisasi port ADC sebagai pembaca sensor tegangan input pada pin A0, sensor tegangan output pada pin A1, sensor arus input pada A2, dan sensor arus output pada A3
3. Jika tegangan baterai kurang dari 12,00 volt maka masuk pada proses charging.
4. Jika tegangan luaran solar cell kurang dari 7,50 volt maka sistem tidak berjalan
5. Jika tegangan luaran solar cell diantara 7,50 sampai 13,00 volt, maka PWM_Buck akan ON

dan PWM_Boost akan switching agar tegangan luaran buck-boost terjaga di 13,60 volt (Boost Mode)

6. Jika tegangan luaran solar cell diantara 13,00 sampai 14,00 volt maka PWM_Buck akan switching dan PWM_Boost akan switching agar tegangan luaran buck-boost terjaga di 13,60 volt (Buck-Boost Mode).

- 7. Jika tegangan luaran solar cell diatas 14,00 volt dan sampai batas maksimal 21 volt, maka PWM_Buck akan switching dan PWM_Boost akan OFF agar tegangan luaran buck-boost terjaga di 13,60 volt (Buck Mode)
- 8. Jika arus output kurang dari 0,2 ampere, dan tegangan luaran buck-boost lebih dari sama dengan 13,60 volt maka proses charge akan berhenti.



Gambar 3.17 Flowchart algoritma Sistem Battery Charging

VII. IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan sistem dalam melakukan fungsinya. Pengujian pada sistem battery charging meliputi pengujian solar cell, , pengujian

sensor tegangan, pengujian sensor arus pengujian buck boost converter, dan pengujian secara keseluruhan.

4.1. Pengujian Solar Cell

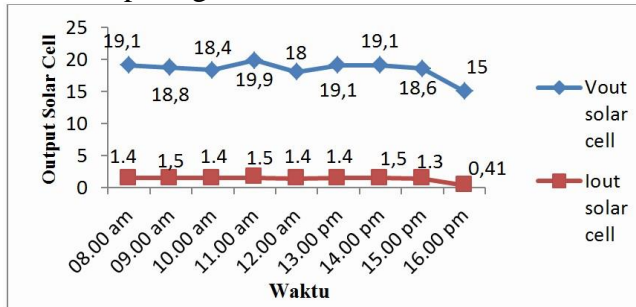
Pengujian bertujuan untuk mengetahui tegangan tertinggi dan tegangan terendah dari solar cell

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

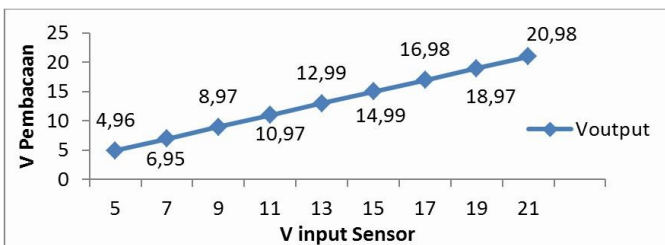
terhadap pencahayaan matahari mulai pukul 08.00 hingga pukul 16.00. Pengujian dilakukan dengan mengukur arus dan tegangan luaran solar cell yang diberi beban 12 Ohm. Hasil pengujian terlihat seperti pada grafik luaran solar cel terhadap pencahayaan matahari pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Vout dan Iout Yang DihasilkanC. *Solar cell*

Berdasarkan Gambar 4.1 diperoleh nilai tegangan tertinggi 19,1 Volt dengan arus 1,5 A dan tegangan terendah 15 Volt dengan arus 0,41 A.

Pengujian sensor tegangan dan sensor arus dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor. Hasil pengukuran antara pembacaan oleh sistem dengan pembacaan oleh voltmeter seperti grafik pada gambar 4.2.

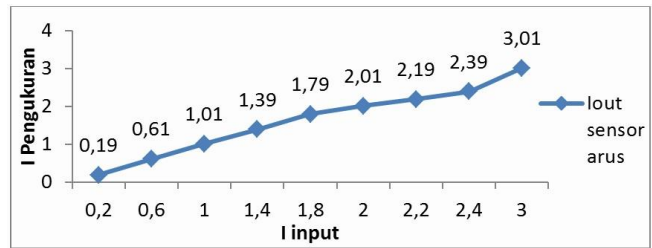


B. 4.2. Pengujian Sensor tegangan dan arus

Gambar 4.2. Grafik pengujian pembacaan sensor tegangan oleh sistem terhadap pengukuran dengan voltmeter.

Berdasarkan data hasil pengukuran, rerata kesalahan pengukuran tegangan oleh sistem sebesar 0,06% hingga 0,8%.

Hasil pengukuran antara pembacaan oleh sistem dengan pembacaan oleh amperemeter seperti grafik pada gambar 4.3.

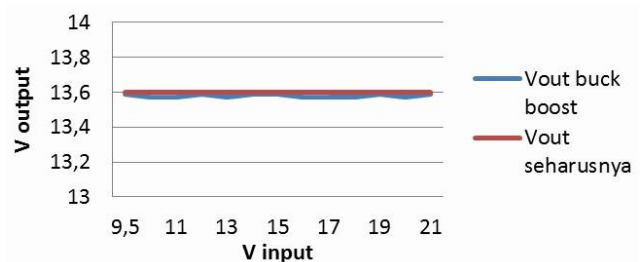


Gambar 4.3. Grafik pengujian pembacaan sensor arus oleh sistem terhadap pengukuran dengan amperemeter.

Berdasarkan data hasil pengukuran, rerata kesalahan pengukuran arus oleh sistem sebesar 0% hingga 0,8%.

4.3. Pengujian Buck-Boost Converter

Pengujian buck-boost converter bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mempertahankan tegangan output yang direncanakan yaitu 13,6V (tegangan standar charging battery 12V) terhadap tegangan masukan



Gambar 4.4 Grafik Voutputbuck-boost terhadap masukan tegangan yang berubah.

4.4. Pengujian Sistem menyeluruh

Pengujian keseluruhan bertujuan sistem yang berubah – ubah. Pada pengujian ini tegangan input bervariasi antara 9,5 V hingga 21 V, dan hasilnya seperti grafik pada gambar 4.4, terlihat luarannya tetap konstan. Hasil pengukuran menunjukkan rerata kesalahan outputnya adalah 0,07% hingga 0,2%.

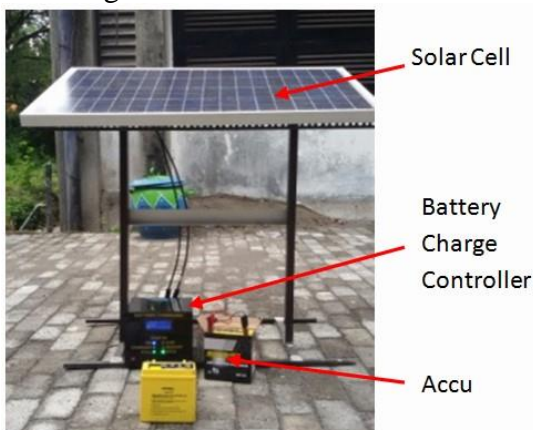
APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

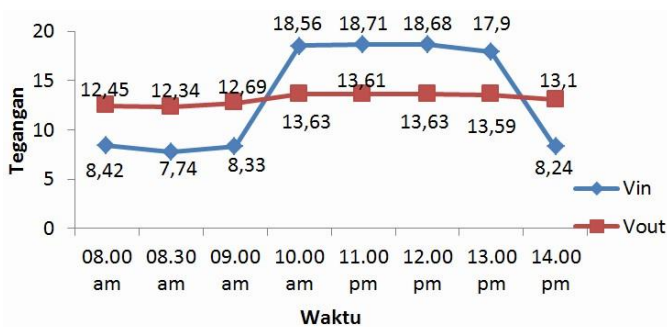
ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

untuk

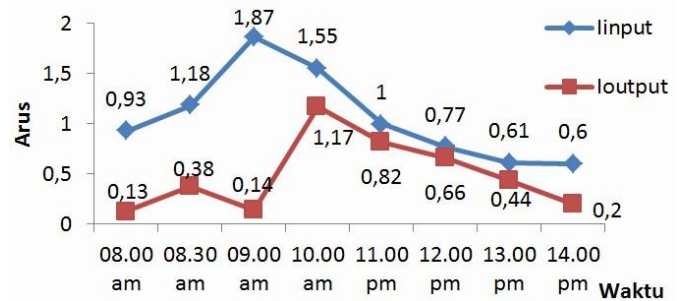
mengetahui performa sistem sebagai pengisi baterai 12 Volt. Pengujian dilakukan dengan meletakkan solar cell pada ruang terbuka dengan paparan sinar matahari dari pagi hingga sore. Instalasi sistem seperti pada gambar 4.5, yang terdiri atas solar cell, sistem baterai Charging yang dibuat dan sebuah Accu kering 12V 10AH.



Gambar 4.5 Instalasi pengujian sistem battery charge controller.



Gambar 4.6 Grafik tegangan luaran solar cell dan luaran buck-boost converter pada pengujian sistem secara menyeluruh mulai pukul 08.00 hingga pukul 14.00.



Gambar 4.7 Grafik Arus luaran solar cell dan luaran buckboost converter pada pengujian sistem secara menyeluruh mulai pukul 08.00 hingga pukul 14.00.

Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 merupakan hasil pengujian mulai pukul 08.00 WIB hingga 14.20 WIB. Tegangan *charging* rata-rata yang terbaca sekitar 13,6 Volt dan arus *charging* yang dihasilkan rata-rata dibawah 1 Ampere. *Charging battery* 12 Volt membutuhkan waktu sekitar 5 jam dari keadaan battery 12,12 Volt sampai 12.81 Volt (Full). *Charging* baterai lebih lama karena cuaca berawan sehingga intensitas cahaya matahari rendah.

VIII. V. KESIMPULAN

Dari pengujian terhadap sistem yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan:

1. *Battery charging* dapat digunakan untuk mengisi baterai 12 Volt dengan tegangan *charging* baterai sebesar 13.6 Volt , arus keluaran rata rata 1 A dengan waktu proses *charging* baterai rata-rata 4 jam.
2. Tegangan luaran sistem battery charging tetap stabil meskipun tegangan input berubah-ubah.
3. Saat intensitas matahari tinggi yaitu pada pukul 10.00 sampai 14.00 efisiensi mencapai 78%.
4. Sistem *charging* battery terputus ketika tegangan luaran panel kurang dari 7,5 volt atau pada keadaan arus *charging* kurang dari 0,2 ampere.
5. Ketelitian sistem dalam mengukur tegangan luaran solar cell dan tegangan luaran buck-boost sebesar 0.8%.
6. Ketelitian sistem dalam mengukur arus charge dan discharge baterei sebesar 0.8%.

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

IX. DAFTAR PUSTAKA

- [1] McEVOY Augustin Tom, Castaner Luis, 2013, "Solar Cell Material, Structur, and Operation", USA.
- [2] Wiwien Widyastuti, 2011, "Alat Pengukur Tegangan Pengisian dan Pengosongan untuk Baterai Isi Ulang", Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.
- [3] Datasheet *Microcontroller* ATmega 128
- [4] Haifeng,"Design tips For an Efficient NonInverting Buck-Boost Converter",Jurnal, Texas Instrument
- [5] Datasheet ACS712, 2009 "*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a LowResistance Current Conductor*", Allegro MicroSystem, diakses pada tanggal 10 April 2016.
- [6] Pujiono,"**Rangkaian Listrik**", Graha Ilmu, Yogyakarta,2013.
- [7] "Battery State Of-Charge Chart For Voltage & Specific Gravity".
<http://modernsurvivalblog.com/alternativeenergy/battery-state-of-charge-chart> .Diakses tanggal 15 April 2016