

RANCANG BANGUN PENGONTROLAN PENGISIAN BATERAI DENGAN SUMBER SEL SURYA BERBASIS ARDUINO

Aria Nurul Haq¹⁾, Saipul¹⁾, Tan Suryani²⁾, Yusnaini Arifin²⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Tadulako

²⁾Dosen Teknik Elektro Universitas Tadulako

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

E-mail: aria.mangge74@gmail.com dan saipul712411@gmail.com

ABSTRACT

Palu is municipality located in equator where solar radiation is abundantly available. therefore, utilization of solar energy is potential. solar energy technology has some advantages, such as are of renewable energy, having no pollution and available everywhere. recently, the use of solar energy technology, especially photovoltaic, has been used widely such as battery charger using photovoltaic. charging battery with photovoltaic as source, has been limited by instability of photovoltaic output voltage. so voltage input of battery is also fluctuated.

This research applies cuk converter to increase and decrease the voltage from photovoltaic. to stabilize the output of cuk converter at 13,8 V. PID control is applied with Kp,Kd,Ki, and setpoint are 0.5, 0.25, 0.02, and 110 respectively.

The result shows that use of cuk converter can raise and decrease the source voltage by regulating duty cycle, as well reduce ripple of photovoltaic voltage. the average efficiency of the cuk converter is 79 % when charge the battery. the duration time needed to charge fully the battery is 2-4 hours.

Keywords: Solar Cells, Battery, Cuk Converter, Duty Cycle, PID

I. PENDAHULUAN

Palu merupakan Kota yang terletak tepat di garis khatulistiwa dimana hanya mengalami 2 musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Oleh sebab itu, seiring dengan kemajuan teknologi banyak dimanfaatkan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber untuk mengatasi permasalahan. Kelebihan dari energi matahari yaitu merupakan energi yang terbarukan, tidak menimbulkan polusi dan terdapat dimana saja di Indonesia. Dari keuntungan tersebut maka dibuatkan rancang bangun kontrol pengisian baterai dengan sumber sel surya berbasis arduino.

Dalam sistem ini menggunakan energi matahari sebagai sumber energi yang akan

diserap oleh panel surya (photovoltaic) sehingga menghasilkan tegangan yang nantinya di atur oleh rangkaian cuk converter sebagai konverter DC-DC. Masukan dari sensor tegangan dan sensor arus yang merupakan data analog akan dikontrol menggunakan metode PID. Hasil keluaran dari pengontrolan merupakan tegangan konstan yang terhubung ke baterai yang besarnya telah ditentukan dan hasil pengontrolan akan ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*).

Banyak penelitian mengenai Pengontrolan Pengisian Baterai yang telah dilakukan sebelumnya yang sudah dipelajari sebagai acuan penulis untuk mengembangkan ide dalam penelitian ini. Beberapa hasil penelitian yang dijadikan referensi yaitu Hemalatha J N, dalam penelitiannya yang berjudul



“Performance Evaluation Of Single Ended Primary Inductance Converter For Photo Voltaic Application”.hanya meneliti pengendali MPPT untuk mengatur tegangan keluaran agar tetap konstan. [6]

Kemudian penelitian dari Azadeh Safari dan Saad Mekhilef dalam penelitiannya yang berjudul “Simulation and Hardware Implementation of Incremental Conductance MPPT With Direct Control Method Using Cuk Converter”. menggunakan Software Code Composer Studio v1.3 dan Prosesor TMS320F2812 dengan Algoritma IncCond sebagai control.[2] Kemudian penelitian dari Bagus Kurniawan Susanto dalam penelitiannya yang berjudul “Design dan Implementation Of Cuk Converter With Coupled Induktor To Reduce Ripple Input Current”. perbedaannya yaitu menggunakan metode induktor terkopel. [3]

Berdasarkan uraian diatas penulis mengambil judul tugas akhir “Rancang Bangun Pengontrolan Pengisian Baterai Dengan Sumber Sel Surya Berbasis Arduino”.

1.1. Mikrokontroler Arduino Nano

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardwarenya memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Saat ini Arduino sangat populer di seluruh dunia.

Banyak pemula dan para hobbyist yang belajar mengenal robotika dan elektronika lewat arduino karena mudah dipelajari dan dikembangkan untuk aplikasi elektronik. Bahasa pemrograman yang dipakai dalam arduino bukan assembler yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang disederhanakan.[1].

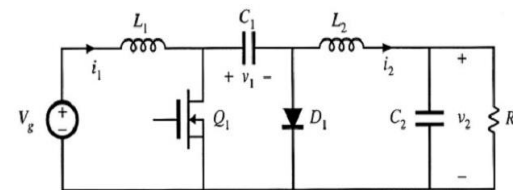
Gambar 1. Board arduino nano

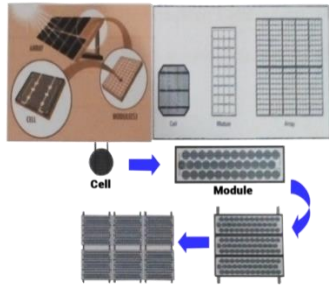
1.2. Photovoltaic

Panel surya sering kali disebut *sel photovoltaic*, Sel *Photovoltaic* merupakan alat yang dapat mengkonversi langsung sinar matahari menjadi energi listrik. Menurut bahasa, kata *Photovoltaic* berasal dari bahasa Yunani *photos* yang berarti cahaya dan *volta* yang merupakan nama ahli fisika dari Italia yang menemukan tegangan listrik. Efek *photovoltaic* pertama kali berhasil diidentifikasi oleh seorang ahli fisika berkebangsaan Prancis yaitu Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1839. Baru pada tahun 1876, William Grylls Adams bersama muridnya, Richard Evans Day menemukan bahwa material padat selenium dapat menghasilkan listrik ketika terkena paparan sinar. Dengan kata lain, arti *Photovoltaic* yaitu proses konversi cahaya matahari secara langsung untuk diubah menjadi listrik. *Photovoltaic* biasa disingkat dengan PV, nama lain untuk sel *photovoltaic* adalah *solar cell*, *solar panel*, *solar array*, dan *photovoltaic panel*. *Solar array* adalah kelompok dari *solar panel*, dan *solar panel* adalah kelompok dari *solar cell*.

Solar cell atau sel surya merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan efek *photovoltaic* untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik. Apabila permukaan sel surya terkena cahaya matahari maka dihasilkan pasangan elektron dan *hole*. Elektron akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dalam baterai untuk digunakan kemudian.

Pada umumnya satu modul surya biasanya terdiri dari 28 s/d 36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar. Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri untuk memperbesar total tegangan dan arus *output*-nya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Gambar 2 berikut merupakan susunan dari sel surya.[3]





Gambar 2. Susunan modul *Photovoltaic*

1.3. Rangkaian *Cuk Converter*

Cuk converter merupakan salah satu jenis rangkaian yang bisa menaikkan atau menurunkan tegangan yang memiliki karakteristik seperti rangkaian buck-boost. *Cuk converter* terdiri dari sumber tegangan arus searah atau direct current (DC), induktor pada sisi input (L_1), kapasitor pentransfer tegangan (C_1), pensaklaran atau switch, dioda, induktor pada sisi output (L_2), kapasitor filter (C_2) dan beban (resistif). Bentuk rangkaian *cuk converter* dapat dilihat pada gambar 3 Induktor sisi input berfungsi sebagai filter dari sumber tegangan DC untuk mengurangi riak gelombang input. Berbeda dengan konverter pada umumnya dimana aliran energi terjadi pada induktor, pada *cuk converter* aliran energi terjadi pada kapasitor pentransfer tegangan [3]. Hal ini karena pada kondisi steady state tegangan rata-rata yang melalui kedua induktor sama dengan nol. Kelebihan dari konverter ini adalah arus kontinu pada sisi input dan output. Sedangkan kelemahan pada *cuk converter* adalah besarnya nilai reaktif pada komponen dan besarnya arus pada switch, dioda serta kapasitor pentransfer tegangan. Berikut adalah rangkaian umum untuk *cuk converter* dapat dilihat pada gambar 3.

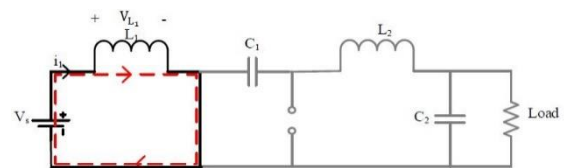
Gambar 3. Rangkaian *Cuk converter*

Analisa pada *cuk converter* berdasarkan beberapa asumsi berikut ini :

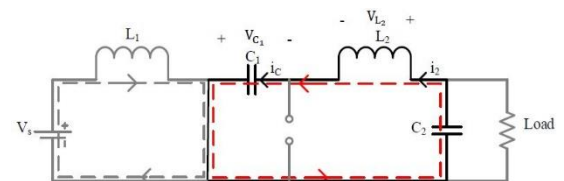
1. Kedua induktor pada *cuk converter* mempunyai nilai induktansi yang besar untuk menghasilkan arus yang konstan.
2. Kedua kapasitor pada *cuk converter* mempunyai nilai kapasitansi yang cukup besar untuk menghasilkan tegangan keluaran yang konstan.
3. Rangkaian dioperasikan pada kondisi steady state, dimana gelombang tegangan dan arus merupakan gelombang periodik.

4. Untuk duty cycle (D), switch tertutup pada waktu ton. Dimana ton merupakan perkalian antara duty cycle dengan periode (T). Periode merupakan waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang penuh. Secara matematis dapat dituliskan $\text{ton} = D.T$. Selanjutnya, switch terbuka pada waktu toff. Dimana toff merupakan perkalian antara $(1-D).T$.
5. Dioda dan switch pada rangkaian *cuk converter* merupakan komponen yang ideal.

Pada kondisi saklar tertutup, dioda akan mengalami reverse bias, saat arus akan mengalir melalui saklar. Pada kondisi ini, induktor sisi input L_1 akan mengalami pengisian energi oleh sumber tegangan DC sesuai dengan gambar 4 Sedangkan induktor sisi output L_2 terjadi proses pengisian energi oleh kapasitor pentransfer tegangan C_1 dan kapasitor filter C_2 sehingga keduanya berfungsi sebagai pengurang riak gelombang pada sisi beban sesuai dengan gambar 5[3]

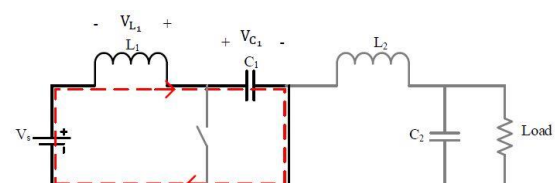


Gambar 4. *Cuk converter* saat switch on analisa loop kiri

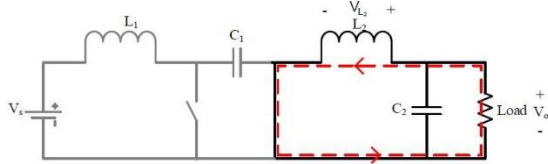


Gambar 5. *Cuk converter* saat switch on analisa loop kanan

Pada kondisi saklar terbuka, dioda akan mengalami reverse bias, saat arus akan mengalir melalui diode. Pada kondisi ini, kapasitor pentransfer tegangan C_1 akan mengalami charge dan mendapat aliran energi dari sumber tegangan DC induktor L_1 sesuai dengan gambar 6 Sedangkan induktor L_2 akan mengalami pengosongan arus dan bersamaan kapasitor filter C_2 akan mengalirkan energi ke beban sesuai gambar 7[3]



Gambar 6 Cuk converter saat *switch off* analisa loop kiri



Gambar 7 Konverter cuk saat *switch off* analisa loop kanan

Nilai tegangan keluaran *cuk converter* dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{D}{1 - D}$$

Dimana :
 Vo : Tegangan output yang diharapkan
 Vs : Tegangan sumber (input)
 D : *Duty cycle*

Untuk menentukan nilai kedua induktor tersebut digunakan persamaan sebagai berikut.

$$L_1 = \frac{V_s^2 \cdot V_o}{\lambda \cdot P \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)}$$

$$L_2 = \frac{V_s \cdot V_o^2}{\lambda \cdot P \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)}$$

Dimana :
 Vs = Tegangan *input* (Volt)
 Vo = Tegangan *output* (Volt)
 λ = Faktor *ripple*
 P = Daya (Watt)
 fs = Frekuensi *switching* (Hz)

Untuk menentukan nilai kedua kapasitor tersebut digunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_1 = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot \lambda \cdot V_o^2}$$

Dimana :
 Vs = Tegangan Input (Volt)
 Vo = Tegangan Output (Volt)
 λ = Faktor ripple
 P = Daya (Watt)
 π = Pi (3.14)
 fs = Frekuensi *switching* (Hz)

maka beban yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = \frac{V_o^2}{R}$$

Dimana :
 R = Tahanan R
 Vo = Tegangan Output (Volt)
 P = Daya output

1.4. Baterai

Pada gambar 8 adalah baterai YTZ-4V yang digunakan dalam penelitian berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh PV module pada siang hari dan akan dipergunakan pada malam hari pada saat cuaca mendung.



Gambar 8. Baterai YTZ-4V

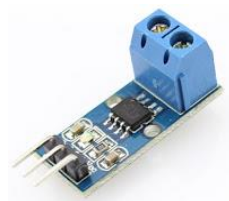
1.5. Sensor Tegangan

Gambar 9 merupakan sensor tegangan yang didasarkan pada penekanan resistansi sehingga tegangan input berkurang hingga 5 kali dari tegangan input. Sensor hanya mampu membaca tegangan maksimal 25 V jika tegangan input analog arduino sebesar 5 V. [5]

Gambar 9. Sensor tegangan

1.6. Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah modul ACS712 ditunjukkan pada gambar 10 memiliki kegunaan untuk mendeteksi besarnya arus yang mengalir lewat blok terminal dimana keluaran berupa sinyal analog yang proporsional terhadap arus listrik yang mengalir di antara pin pendeteksi-nya.[4]



(1)

(2)

Gambar 10 (1) Modul sensor arus ACS712 dan (2) Rangkaian skematik sensor arus ACS712

1.7. Pembalik Polaritas

Rangkaian cuk converter memiliki polaritas tegangan output yang terbalik dari tegangan input. Mikrokontroler tidak bisa membaca tegangan yang bernilai negatif, sehingga dibutuhkan rangkaian pembalik polaritas yaitu operational amplifier LM741.

Gambar 11. LM 741

Untuk menentukan nilai R1 dan R2 menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{out} = -\left(\frac{R_2}{R_1} \times V_{in}\right)$$

Ket :

V = Tegangan Output (V)

V_{in} = Tegangan Input (V)

R_1 = Resistor (Ω)

R_2 = Resistor (Ω)

1.8. LCD

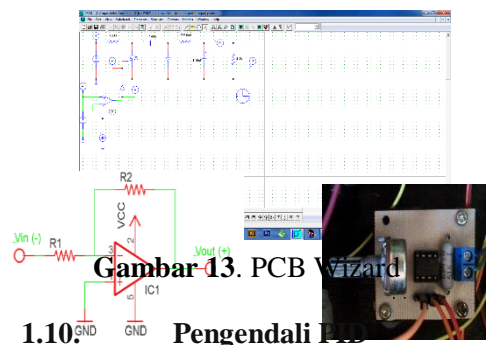
Pada gambar 12 menunjukkan LCD (Liquid Crystal Display) yang merupakan alat untuk memonitor baik itu input maupun output sebagai penampil data.



Gambar 12. LCD (Liquid Crystal Display)

1.9. PSIM

Pada gambar 13 menunjukkan tampilan software PSIM sebagai simulator. Sebelum implementasi rangkaian elektronika pada papan PCB, sebaiknya rangkaian tersebut dianalisa untuk mendapatkan nilai parameter yang tepat sebelum disimulasikan. Software ini dilengkapi dengan alat ukur seperti ohmmeter, amperemeter, voltmeter, dan oscilloscope.



Gambar 13. PCB Wizard

Kendali PID (Proportional Integral Derivative) merupakan suatu pengontrol proporsional yang memberikan aksi kontrol proporsional dengan error akan mengakibatkan efek pada pengurangan rise time dan menimbulkan kesalahan keadaan tunak (error steady state). Suatu pengontrol integral yang memberikan aksi kontrol sebanding dengan jumlah kesalahan akan mengakibatkan respon transien yang memburuk. kontrol derivatif mempunyai kelebihan memperkecil error/meredam overshoot. Elemen-elemen

pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan :

1. mempercepat reaksi sebuah sistem mencapai set point--nya
2. menghilangkan *error steady state*
3. menghasilkan perubahan awal yang besar dan mengurangi *overshoot*.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Cara Penelitian

Pada perancangan sistem rangkaian cuk converter dengan metode control PID (Proportional Integral Derivative) menggunakan arduino, dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut :

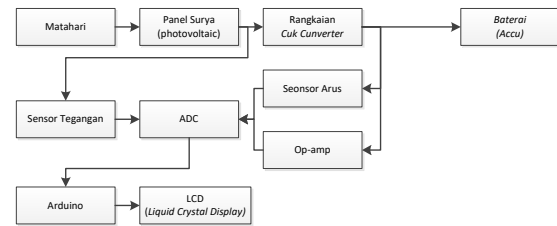
1. Menyiapkan panel surya (photovoltaic);
2. Menghitung output dari panel surya dan kestabilan dalam menyerap sinar

No	Parameter Panel Surya	Nilai	Satuan
1	Model Number	SPM035P	-
2	Rated Maximum Power (Pmax)	85	Wattpeak
3	Current at Pmax (Imp)	4.84	Ampere
4	Voltage at Pmax (Vmp)	17.9	Volt
5	Short Circuit Currenr (Isc)	5.17	Ampere
6	Open Circuit Voltage (Voc)	21.9	Volt

- matahari;
3. Pembuatan rangkaian konversi DC – DC cuk converter;
4. Menghitung output dari rangkaian cuk converter
5. Pemasangan sensor tegangan dan arus yang akan dipasang di rangkaian cuk converter;
6. Menyiapkan arduino yang mengambil input dari sensor arus dan tegangan;
7. Mendesain kendali PID (Proportional Integral Derivative) yang akan ditanamkan pada arduino untuk mengatur tegangan rangkaian cuk converter.
8. Menghubungkan arduino ke LCD (Liquid Crystal Display) sebagai interface antara manusia dan sistem.

9. Membuat tampilan arus dan tegangan di LCD sebagai hasil dari pembacaan arduino.

2.2 Diagram blok



Gambar 14. Diagram blok sistem

Pada gambar 14, menunjukkan diagram blok sistem yang menggunakan energi matahari sebagai sumber. Energi tersebut akan di serap oleh panel surya (photovoltaic) untuk menghasilkan tegangan yang akan di atur oleh rangkaian cuk converter sebagai konverter DC-DC. Tegangan output dari rangkaian cuk converter akan dikontrol oleh mikrokontroler arduino dengan metode PID (Proportional Integral Derivative) yang mengambil input dari sensor tegangan dan sensor arus yang berupa data analog. Data hasil pengontrolan akan disimpan ke baterai yang besarnya 12 Volt dan akan ditampilkan di LCD.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Sel Surya

Dalam perancangan kontrol pengisian baterai digunakan sumber dari panel surya, dengan parameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Parameter Panel Surya

Berdasarkan datasheet panel surya yang digunakan dari penelitian yang dilakukan selama 7 hari, dimana pengambilan data dimulai dari pukul 09:00 sampai dengan pukul 16:00 setiap harinya, maka diperoleh nilai rata – rata dari hasil pengukuran tegangan sebesar 19 V dan arus sebesar 4 A. Dengan selang waktu pengambilan data perjam.

3.2 Rangkaian Cuk converter

Pada desain ini, tegangan input yang ditentukan 21,9 Volt (tegangan keluaran maksimum dari panel surya) dengan daya 85 Wattpeak. Untuk tegangan output ditentukan sebesar 13,9 Volt. Berdasarkan tegangan input dan tegangan output yang telah ditentukan,

maka duty cycle yang digunakan pada rangkaian cuk converter dapat ditentukan dengan persamaan.

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{D}{1-D} \Leftrightarrow \frac{13,8}{21,9} = -\frac{D}{1-D}$$

$$D = 0.38 \text{ atau } D = 38 \%$$

beban yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$P = \frac{V_o^2}{R} \Leftrightarrow R = \frac{13,8^2}{85} \Leftrightarrow R = 2,24 \Omega$$

Untuk menentukan nilai kedua induktor tersebut digunakan persamaan.

$$L_1 = \frac{V_s^2 \cdot V_o}{\lambda \cdot P \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)}$$

$$L_1 = \frac{21,9^2 \cdot 13,8}{0,1 \cdot 85 \cdot 10^3 \cdot (13,8 + 21,9)}$$

$$L_1 = 218 \mu H$$

$$L_2 = \frac{V_s \cdot V_o^2}{\lambda \cdot P \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)}$$

$$L_2 = \frac{21,9 \cdot 13,8^2}{0,1 \cdot 85 \cdot 10000 \cdot (13,8 + 21,9)}$$

$$L_2 = 137 \mu H$$

Pada rangkaian cuk converter terdapat dua buah kapasitor dengan penentuan nilai yang dapat dilihat pada persamaan.

$$C_2 = \frac{P}{\lambda \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)^2}$$

$$C_2 = \frac{85}{0,1 \cdot 10000 \cdot (13,8 + 21,9)^2}$$

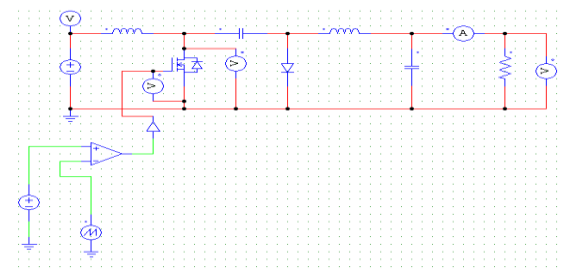
$$C_1 = 66 \mu F$$

$$C_2 = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot \lambda \cdot V_o^2}$$

$$C_2 = \frac{85}{2 \cdot 3,14 \cdot 10000 \cdot 0,1 \cdot 13,8^2}$$

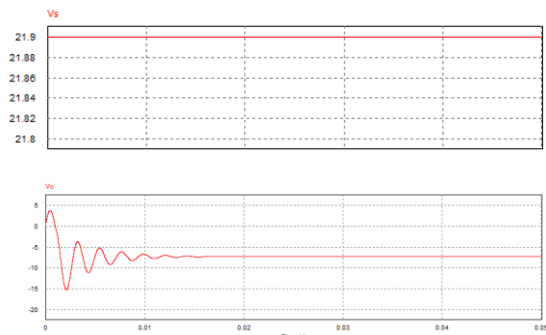
$$C_2 = 0,070 \text{ mF} = 71 \mu F$$

Simulasi rangkaian cuk converter pada PSIM berdasarkan parameter yang telah dihitung sebelumnya, dijadikan acuan dalam pembuatan alat dalam bentuk implementasi untuk menentukan nilai awal dari komponen yang akan digunakan pada perancangan.



Gambar 15 Rangkaian cuk converter

Pada gambar 15 menunjukkan rangkaian cuk converter yang terdiri dari komponen gate switching, diode, 2 buah induktor dan 2 buah kapasitor. Dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 16 Grafik Vs dan Vo pada simulasi aplikasi PSIM

Pada gambar 16 menunjukan grafik hasil simulasi output rangkaian cuk converter pada aplikasi PSIM, yaitu menurunkan tegangan input sebesar 21,9 Volt menjadi 13,9 Volt dengan duty cycle 38 %. Dalam simulasi ini, hasil tegangan output (Vo) yang diperoleh sebesar -7,28 Volt disebabkan komponen dioda dan MOSFET yang digunakan dalam kondisi ideal. Dioda yang digunakan adalah diode MUR1560 yang memiliki kemampuan blocking voltage 600 volt. Pada penelitian juga menggunakan MOSFET jenis IRF540 yang mampu menghantarkan arus mencapai 33 A dan tegangan drain-source maksimum sebesar 100 Volt.

3.3 Perancangan Pembalik Polaritas

Rangkaian cuk converter memiliki polaritas tegangan output yang terbalik dari tegangan input. Mikrokontroler tidak bisa membaca tegangan yang bernilai negatif, sehingga dibutuhkan rangkaian pembalik polaritas yaitu operational amplifier LM741. Tegangan keluaran maksimum dari perancangan cuk converter sebesar 13,8 volt, dibutuhkan sebagai rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari dua buah resistor dimana salah satu resistornya merupakan resistor variabel sehingga range voltage masih bisa diatur sesuai keinginan.

$$V_{out} = - \left(\frac{R_2}{R_1} \times V_{in} \right)$$

$$V_{out} = - \left(\frac{20 \text{ k}\Omega}{51 \text{ k}\Omega} \times 21,9 \right)$$

$$V_{out} = -8.47 \text{ V}$$

Hasil dari perhitungan menunjukkan tegangan output (V_{out}) sebesar -8.47 V dan nilai R_2 yang digunakan untuk implementasi sebesar 50 k Ω .

3.4 Perancangan Rangkaian Driver MOSFET

Tabel 2 Spesifikasi TLP250

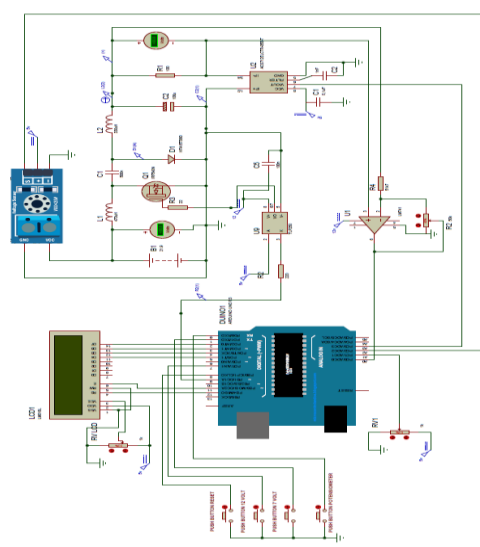
1	Input Threshold Current (I_F)	5mA(max)
2	Supply Current (I_{cc})	11 mA (max)
3	Supply Voltage (V_{cc})	10 – 30 V
4	Output Current (I_o)	$\pm 1.5 \text{ A}$ (max)
5	Switching Time	1.5 μs (max)
6	Isolation Voltage	2500 V_{rms} (min)

TLP250 berfungsi untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) level tegangan 5 Volt dibangkitkan mikrokontroler menjadi level tegangan yang lebih tinggi dengan sistem ground terpisah (level tegangan 15 Volt) dan cukup untuk memicu MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) dalam proses pensaklaran.

3.5 Penggunaan Pin Arduino Uno Pada Rangkaian Cuk Converter

Pada penelitian ini, arduino uno digunakan untuk mengatur semua sistem baik berupa sinyal input maupun output yang akan diproses sesuai program yang telah ditanamkan di dalam mikrokontroler. Input tersebut adalah driver MOSFET, pembalik polaritas, push button, modul sensor arus ACS712 – 5A, modul sensor tegangan dan resistor variabel, sedangkan output ditampilkan pada Liquid Crystal Display (LCD).

Arduino uno memiliki 14 pin input/output yaitu pin 0 sampai pin 13, dan 6 pin input analog pin A0 sampai A5. Selain itu, arduino uno juga memiliki pin SCL, pin SDA, pin VCC, pin GND dan pin reset. Regulator 7805 dan 7812 mendapatkan supply tegangan dari panel surya. Tegangan keluaran regulator 7805 di hubungkan ke driver MOSFET, sensor arus, sensor tegangan dan LCD, sedangkan tegangan keluaran regulator 7812 terhubung ke Arduino dan LM741. Adapun skema keseluruhan dapat dilihat pada gambar 17.

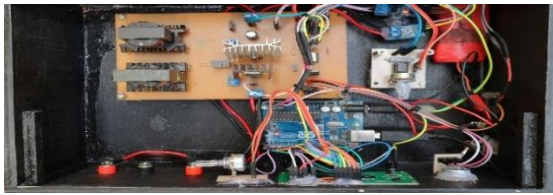


Gambar 17 Skema keseluruhan alat

3.6 Bentuk Fisik Alat

Rancang bangun kontrol pengisian baterai dengan sumber solar panel berbasis arduino, dirancang di dalam sebuah box yang diupayakan memiliki dimensi yang kecil agar mudah untuk dipindahkan dari satu tempat ke tempat yang lain yaitu, 30cm x 20cm x 9,8cm. Di dalam mekanik box terdapat komponen-komponen input-output, rangkaian elektronika, dan program di dalam mikrokontroler yang terintegrasi membentuk sebuah alat dengan sistem yang dapat menjalankan fungsi sebagai

sistem kontrol pengisian baterai seperti ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 18 Bentuk fisik alat Pengujian PWM

Berikut hasil pengujian gelombang Pulse Width Modulation (PWM) keluaran dari arduino dan driver MOSFET dengan frekuensi 10 kHz ditunjukkan pada gambar 19.

Gambar 19 Hasil Pengujian PWM

Pada gambar 19 merupakan perbedaan keluaran PWM arduino yang ditunjukkan sinyal berwarna biru dan keluaran PWM dari driver MOSFET dapat dilihat pada sinyal berwarna kuning.

3.7 Pengujian Modul Sensor Arus ACS 712 – 5A

Pengujian sensor arus ACS 712 – 5A untuk mengetahui apakah sensor arus dapat membaca keluaran dari cuk converter.

Gambar 20 Pengujian sensor Arus

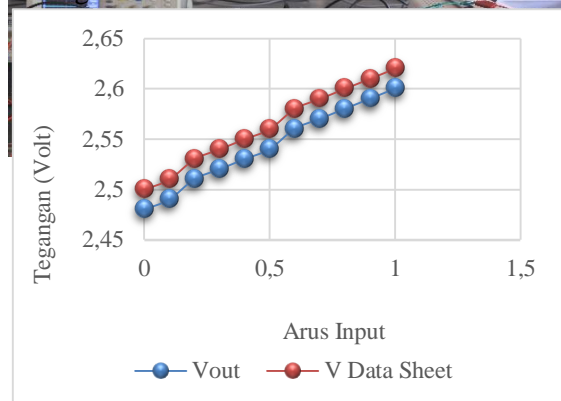
Gambar 20 merupakan pengujian sensor arus ACS712 – 5A, power supply yang diatur pada mode arus, tegangan input 5V, arduino uno dan multimeter. Selanjutnya menghubungkan sensor arus ACS712 dengan arduino uno, tegangan 5V arduino dihubungkan ke Pin Vcc sensor arus ACS712, kemudian ground arduino dihubungkan ke Pin GND sensor arus ACS712, analog read (A3) arduino dihubungkan ke pin output sensor arus ACS712

serta multimeter dan power suply mode arus dihubungkan ke input sensor arus ACS712.

Tabel 3 Hasil pengujian modul sensor arus ACS712-5A

No	I Input	V out	V Data Sheet	Kesalahan %
1	0	2,48	2,50	0,8
2	0,1	2,49	2,51	0,8
3	0,2	2,51	2,53	0,8
4	0,3	2,52	2, 54	0,8
5	0,4	2,53	2,55	0,8
6	0,5	2,54	2,56	0,8
7	0,6	2,56	2,58	0,8
8	0,7	2,57	2,59	0,8
9	0,8	2,58	2,60	0,8
10	0,9	2,59	2,61	0,8
11	1	2,60	2,62	0,8

Tabel 3 merupakan hasil pengambilan data pada pengujian sensor arus ACS712-5A, rata-rata kesalahan sebesar 0,8 %, sedangkan pada datasheet kesalahan pembacaan maksimum 1,5 %, sehingga sensor ini masih bisa digunakan. Kesalahan pembacaan sensor tersebut diakibatkan tegangan sumber yang kurang stabil.



Gambar 21. Grafik pengujian modul sensor arus ACS712-5A

3.8 Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian modul sensor tegangan untuk mengetahui apakah sensor dapat membaca keluaran dari *photovoltaic*.



Gambar 22. Pengujian modul sensor tegangan

■ Pembacaan Sensor tegangan (Volt)

Gambar 22 merupakan pengujian sensor tegangan, dimana power supply diatur pada mode tegangan input 21,5V - 12,5V, modul sensor tegangan dan arduino uno. Selanjutnya menghubungkan sensor tegangan dengan arduino, dimana tegangan 5V arduino dihubungkan ke Pin Vcc, kemudian ground arduino dihubungkan ke pin GND sensor, analog read (A2) arduino dihubungkan ke pin output sensor tegangan serta power supply dihubungkan parallel ke sensor tegangan.

Tabel 4 Hasil pengukuran modul sensor tegangan

No.	Tegangan Power Supply (Volt)	Sensor tegangan (Volt)
1	21,50	21,44
2	20,50	20,51
3	19,50	19,41
4	18,50	18,51
5	17,50	17,48
6	16,50	16,48
7	15,50	15,40
8	14,50	14,38
9	13,50	13,40
10	12,50	12,42

Tabel 4 merupakan data hasil penelitian pembacaan sensor tegangan, yang memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan tegangan power supply. Dari hasil analisa bahwa sensor tegangan ini bisa digunakan.

Gambar 23 Grafik hasil pengujian sensor tegangan

3.9 Pengujian Modul Op-Amp Sebagai Pembalik Polaritas

Pengujian Op-Amp sebagai pembalik polaritas untuk mengetahui apakah Op-Amp bekerja sesuai fungsinya, dan sekaligus digunakan sebagai sensor tegangan pada bagian output cuk converter. Modul Op-Amp memiliki jangkauan pembacaan mulai dari 0 (pada input -1,29) sampai 1023 (pada input -30V).

Gambar 24. Pengujian modul Op-Amp sebagai pembalik polaritas

Tabel 5 Hasil pengukuran Op-Amp sebagai modul pembalik polaritas

No.	Tegangan Power Supply (Volt)	Pembacaan Sensor tegangan (Volt)
1	21,50	21,57
2	20,50	20,57

3	19,50	19,61
4	18,50	18,58
5	17,50	17,60
6	16,50	16,56
7	15,50	15,49
8	14,50	14,47
9	13,50	13,52
10	12,50	12,48

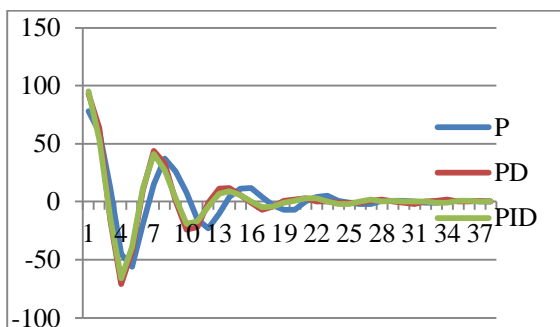
Tabel 5 merupakan hasil pengukuran Op-Amp yang mendekati dengan tegangan power supply yang diberikan. Kelemahan dari sensor ini adalah semakin besar tegangan input maka semakin besar perbedaan pembacaan Op-Amp dengan power supply. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa Op-Amp dapat digunakan dalam perancangan ini.

3.10 Pengujian Kontrol PID

Pengujian kontrol PID adalah dengan melihat perbedaan antara kontrol P, kontrol PI, Kontrol PD, Kontrol PID. penentuan nilai KP sebesar 0.5, nilai KD sebesar 0.25 dan nilai KI sebesar 0.02 untuk membuat tegangan keluaran cuk converter konstan di-setpoint 110 atau 13,8 V didapat dengan cara *trial and error*.

$$\text{Propotional} * \text{error} + \text{Derivative}*(\text{rate}) + \text{Integral}*(\text{rate});$$

Adapun perbedaan dari beberapa pengontrolan ditunjukkan pada gambar 25.

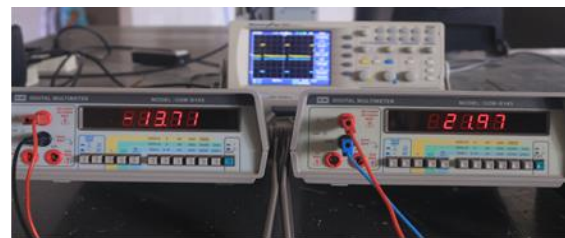


Gambar 25. Grafik perbandingan PID

3.11 Pengujian Rangkaian Cuk Converter

Pengujian rangkaian cuk converter dilakukan untuk melihat apakah berfungsi dengan baik menaikkan dan menurunkan tegangan. Dalam pengujian ini cuk converter diberi input dari power supply sebesar 21,97 Volt dan menghasilkan tegangan output yang lebih besar atau lebih kecil dari tegangan input sesuai dengan duty cycle yang diberikan.

Gambar 26 merupakan pengujian rangkaian cuk converter untuk menurunkan tegangan, dimana tegangan input yang diberikan dari power supply sebesar 21,97 Volt dan menghasilkan nilai output lebih kecil dari nilai input yaitu -13,71 Volt.



Gambar 26 Hasil percobaan menurunkan tegangan



Gambar 27 Hasil percobaan menaikkan tegangan

Gambar 27 merupakan pengujian rangkaian cuk converter untuk menaikkan tegangan, dimana, tegangan input yang diberikan dari power supply sebesar 21,95 Volt menghasilkan nilai output lebih besar dari nilai input yaitu -30,21 Volt.

3.12 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan dengan cara merangkai keseluruhan rancangan sistem pengisian baterai dimana tegangan input berasal dari sel surya sebagai sumber tegangan. Data yang diambil yaitu tegangan input, tegangan output, duty cycle, arus input dan arus output yang dapat dilihat pada tabel 6 Perancangan ini

menggunakan baterai (accu) dengan tegangan awal sebesar 12,05 Volt. Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Hasil pengujian tegangan konstan dengan sumber sel surya

V_{input} (V)	I_{input} (A)	Duty Cycle (%)	V_{output} (V)	I_{output} (A)	Intensitas (Watt/ m^2)
10,72	2,28	80	13,95	1,05	244,08
19,46	0,78	56	13,94	0,81	701,75
19,38	0,54	53	13,96	0,62	692,30
19,35	0,46	50	13,92	0,54	648,36
19,19	0,43	47	14,00	0,48	572,08
19,06	0,38	44	13,97	0,44	533,94
19,05	0,35	40	14,02	0,48	480,55
19,43	0,35	36	14,10	0,36	594,96
19,27	0,32	35	14,01	0,32	556,82
18,98	0,28	34	14,05	0,31	396,64
19,41	0,28	33	14,06	0,31	533,94
19,38	0,27	32	14,05	0,30	968,72
19,22	0,26	32	14,17	0,29	343,25
19,39	0,26	31	14,19	0,28	350,87
19,29	0,25	30	14,18	0,26	327,99
19,38	0,24	29	14,22	0,26	381,38
19,30	0,23	23	14,18	0,22	396,64
19,69	0,20	22	14,25	0,21	305,11
19,45	0,19	21	14,17	0,20	312,73
19,45	0,18	20	14,27	0,20	343,24
19,43	0,18	19	14,21	0,19	320,36
19,26	0,16	18	14,24	0,18	259,34
19,24	0,16	17	14,23	0,17	213,57
19,11	0,15	16	14,29	0,16	167,81
19,11	0,14	15	14,22	0,15	114,41
19,05	0,13	15	14,28	0,14	106,78
18,92	0,12	15	14,19	0,13	99,16
19,01	0,11	15	14,19	0,11	106,78

Pada tabel 6, terlihat bahwa cuk converter menunjukkan tegangan konstan. Beberapa nilai tegangan output diawal pengambilan data memiliki nilai berbeda,

disebabkan sel surya yang masih dalam kondisi dingin. Data dari tegangan output yang memiliki nilai berbeda, akan tetapi tidak akan mempengaruhi umur baterai karena kondisi normal pengisian baterai yaitu 13,8 Volt sampai dengan 14,7 Volt.

Dari hasil pengukuran selanjutnya dilakukan perhitungan daya input dan daya output untuk mencari nilai efisiensi seperti yang ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7 Hasil daya dan efisiensi

P_{input} (Watt)	P_{output} (Watt)	Efisiensi (%)
24,44	14,64	59,92
15,17	11,29	74,38
10,46	8,65	82,70
8,90	7,51	84,44
8,25	6,72	81,43
7,24	6,14	84,86
6,66	6,72	100,93
6,80	5,07	74,64
6,16	4,48	72,70
5,31	4,35	81,95
5,43	4,35	80,19
5,23	4,21	80,55
4,99	4,10	82,23
5,04	3,97	78,81
4,82	3,68	76,44
4,65	3,69	79,48
4,43	3,11	70,27
3,93	2,99	75,99
3,69	2,83	76,68
3,50	2,85	81,51
3,49	2,69	77,19
3,08	2,56	83,17
3,07	2,41	78,58
2,86	2,28	79,76

2,67	2,13	79,72
2,47	1,99	80,72
2,27	1,84	81,25
2,09	1,56	74,64
Efisiensi rata rata		79,11

Berdasarkan tabel 7 terlihat bahwa cuk converter menghasilkan nilai efisiensi yang baik atau nilai rata – rata efisiensi $\pm 79,11\%$,

IV. PUNUTUP

4.1. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian “Rancang Bangun Pengontrolan Pengisian Baterai Dengan Sumber sel surya Berbasis Arduino”, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Rancang bangun pengontrolan pengisian baterai menggunakan rangkaian cuk converter yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan DC. Duty Cycle berfungsi untuk membuat tegangan keluaran konstan meskipun tegangan masukan berubah-ubah. Ketika tegangan masukan semakin besar, maka nilai duty cycle akan semakin kecil.
2. Tegangan keluaran dari rangkaian ini bernilai negatif sehingga harus menggunakan op-amp tipe LM741 sebagai pembalik polaritas tegangan.
3. Sistem kontrol rangkaian ini menggunakan kontrol PID dengan nilai KP sebesar 0.5, nilai KD sebesar 0.25 dan nilai KI sebesar 0.02 serta set point-nya bernilai 46 atau sebesar 13.8 Volt.
4. Rancang bangun pengontrolan pengisian baterai menggunakan LCD sebagai tampilan sistem sehingga memudahkan pemantauan arus dan tegangan keluaran.

4.2. Saran

1. Pemilihan komponen sangat perlu diperhatikan dalam perancangan sehingga hasil perancangan tidak beda jauh dari hasil perhitngan. Untuk pembuatan induktor usahakan lilitanya merata dan rapat sehingga induktor bekerja sesuai yang diharapkan.
2. Untuk mengembangkan pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan

menggunakan kendali seperti fuzzy logic, adaptif, neural network,dll serta dapat menggabungkan dengan pemantauan menggunakan LAB VIEW, Web dll.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arief, E. 2014. Pengertian dan Kegunaan Arduino. <https://ariefeeiiggeennblog.wordpress.com/2014/02/07/pengertian-fungsi-dan-kegunaan-arduino/>. Diakses 26 Juni 2017
- [2] Azadeh Safari dan Saad Mekhilef. 2011. *Simulation and Hardware Implementation of Incremental Conductance MPPT With Direct Control Method Using Cuk Converter*. Amerika, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [3] Bagus Kurniawan Susanto. 2017. *Design dan Implementation Of Cuk Converter With Coupled Induktor To Reduce Ripple Input Current*. Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] Electricity of Dream. 2016. Tutorial Arduino Mengukur Arus Dengan Modul Sensor Arus ACS712. <http://electricityofdream.co.id/2016/09/tutorial-mengukur-arus-dengan-modul.html>. Diakses : 21 Juni 2017
- [5] Electricity of Dream. 2016. Tutorial Arduino Mengukur Tegangan Dengan Modul Sensor Tegangan. <http://electricityofdream.co.id/2016/09/tutorial-mengukur-tegangan-dengan-modul.html>. Diakses 21 Juni 2017
- [6] Hemalatha, J.N. 2014. *Performance Evaluation Of Single Ended Primary Inductance Converter For Photo Voltaic Application*. Bangalore, R V College Of Engineering.
- [7] I Learning Media. 2015. Pengertian Arduino UNO. <http://ilearning.me/sample-page-162/arduino/pengertian-arduino-uno/2015>. Diakses : 21 Juni 2017
- [8] Kurniawan, Singgih. 2012. *Maximum Power Point Tracking (Mppt) Dengan Konverter Dc-Dc Tipe Cuk Menggunakan Metode Logika Fuzzy Pada Fotovoltaik*. Semarang, Universitas Diponegoro.
- [9] Laboratorium Kontrol. 2012. Kontroller PID. <http://labkontrol.blogspot.co.id/2012/09/k>

- [ontroller-pid 30.html](#). Diakses : 12 Februari 2018.
- [10] Pradana, S. 2016. Mengenal PSIM. <https://sunupradana.info/pe/2016/10/13/mengenal-psim/>. Diakses: 21 Juni 2017
- [11] Rashid, Muhammad H. 2001. *Power Electronic Handbook*. Canada, Academic Press.
- [12] Simurat, S.D.R. 2010. Pengenalan Proteus (Software simulasi & desain PCB). <https://dunovteck.wordpress.com/2010/02/23/pengenalan-proteus-software-simulasi-desain-pcb-2/>. Diakses: 12 Februari 2018
- [13] Wikipedia. 2017. Energi Surya. https://id.wikipedia.org/wiki/Energi_surya. Diakses : 21 Juni 2017
- [14] Wikipedia. 2017. FotoVoltaic. <https://id.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaiik>. Diakses : 21 Juni 2017