

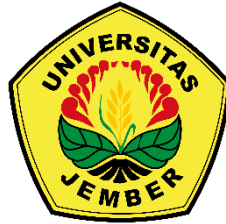


**RANCANG BANGUN SISTEM SOLAR CHARGER BERBASIS *CUK*
CONVERTER DENGAN KONTROL *FUZZY LOGIC***

SKRIPSI

oleh
Aldida Akvriyanti
NIM 171910201116

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2021**



**RANCANG BANGUN SISTEM SOLAR CHARGER BERBASIS *CUK*
CONVERTER DENGAN KONTROL *FUZZY LOGIC***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh
Aldida Akvriyanti
NIM 171910201116

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmat nikmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga berkesempatan menimba ilmu di Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Rasulullah Muhammad SAW, sebagai *uswah* terbaik sepanjang masa;
3. Kepada kedua orang tua saya yaitu Bapak Akhmad Kumaedi dan Ibu Suprihatin;
4. Dosen Pembimbing Utama Bapak Bambang Sujanarko serta Dosen Pembimbing Anggota Bapak Triwahju Hardianto yang telah membimbing dengan sangat baik dan Bapak Andi serta Bapak Abdur atas saran-saran yang telah diberikan;
5. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan teknik elektro fakultas Teknik universitas Jember;
6. Guru- guruku saya sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi;
7. Saudara kandung saya Aldino Dwija Arifudin dan Aldila Zahrotus Shafa yang telah memberi semangat dan motivasi saya untuk terus menjadi lebih baik;
8. Almamater tercinta UNIVERSITAS JEMBER;
9. Teman- teman Teknik Elektro Universitas Jember angkatan 2017 yang sangat membatu saya dan menemani perjalanan masa perkuliahan yang sudah seperti keluarga dari awal kuliah;
10. Tim Laboratorium Renewable Energy Universitas Jember yang telah memberi pengalaman yang sangat luar biasa bagi saya yang tak bisa saya lupakan;

MOTO

“ALLAH adalah alasan mengapa meski dalam kesakitan, aku tersenyum. Dalam kebingungan, aku mengerti. Dalam pengkhianatan, aku percaya dan dalam ketakutan saya terus berjuang”

(Mesut Özil)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aldida Akvriyanti

NIM : 171910201116

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Solar Charger Berbasis *Cuk Converter* Dengan Kontrol *Fuzzy Logic*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 8 Februari 2021

Yang menyatakan,

Aldida Akvriyanti

NIM 171910201116

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SISTEM SOLAR CHARGER BERBASIS *CUK*
CONVERTER DENGAN KONTROL *FUZZY LOGIC***

oleh

Aldida Akvriyanti

NIM 171910201116

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem Solar Charger Berbasis *Cuk Converter* Dengan Kontrol *Fuzzy Logic*” karya Aldida Akvriyanti telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 8 Februari 2021

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T

NIP 196312011994021002

NIP 197008261997021001

Anggota II,

Anggota III,

Andi Setiawan, ST., MT

Abdur Rohman, S.T., M.Agr., Ph.D

NIP 196910101997021001

NIP 760017221

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T.

NIP 197008261997021001

RINGKASAN

Rancang Bangun Sistem Solar Charger Berbasis *Cuk Converter* Dengan Kontrol *Fuzzy Logic*; Aldida Akvriyanti; 171910201116; 2020; 121 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pemanfaatan dan penggunaan energi terbarukan merupakan salah satu solusi untuk mengurangi penggunaan pembangkit listrik berbahan dasar fosil yang menghasilkan emisi karbondioksida yang mengakibatkan kerusakan lingkungan. Sebagian wilayah negara Indonesia terletak di daerah ekuator yang mengakibatkan wilayah negara Indonesia banyak tersinari cahaya matahari hampir sepanjang tahun kecuali pada saat musim penghujan dan ketika awan mendung yang membuat sinar matahari terhalang masuk ke wilayah Indonesia. Sinar matahari yang didapatkan sepanjang tahun ini bisa dimanfaatkan untuk menyuplai daya listrik alternatif selain menggunakan listrik bersumber PLN dan energi matahari merupakan jenis energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan tanpa batas dan didapatkan secara gratis. Berdasarkan kondisi yang terjadi untuk proses pengisian baterai guna menyimpan energi matahari dari panel surya dibutuhkan konverter untuk menstabilkan dan mengontrol tegangan dalam pengisian *solar cell* agar lebih efisien dan tidak merusak baterai. Agar keluaran panel surya bisa sesuai dengan baterai yang digunakan maka diperlukan sebuah konverter yang bisa mengubah tegangan panel surya menjadi lebih besar atau lebih kecil dari tegangan input panel surya, maka digunakan konverter dc-dc konverter jenis CUK dalam pengoperasiannya dan strategi kontrol yang dapat diimplementasikan adalah dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Control*. Untuk mendapatkan *setpoint* 28 volt untuk pengisian baterai dengan respon terbaik selama selama 2 Jam, 3 menit, 33 detik dari panel surya 400 Wp mampu dipanen energinya sebesar 275,625 Wh untuk mengisi baterai *ferrara* 24 volt dengan efisiensi 64% dengan daya maksimal 60 Watt. Energi yang dihasilkan oleh panelsurya sebesar 420,48 Wh. Performa *Cuk converter* dengan kontrol fuzzy ketika di terapkan pada proses *charging* memiliki performa yang baik. Daya *charging* yang dihasilkan

pada saat tegangan sebesar 28 volt sebesar 18,52 watt. Dengan proses charging menggunakan 2 buah baterai yang dirangkai seri berkapasitas 3.5 Ah yang membutuhkan waktu selama 2 jam dari tegangan 24,32 volt sampai 28,34 Volt.



SUMMARY

Cuk Converter Based Solar Charger System Design With Fuzzy Logic Control;
Aldida Akvriyanti; 171910201116; 2020; 120 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Utilization and use of renewable energy is one of the solutions to reduce the use of fossil-based power plants which produce carbon dioxide emissions that cause environmental damage. Most of the territory of Indonesia is located in the equatorial area, which causes the territory of Indonesia to get a lot of sunlight throughout the year except during the rainy season and when cloudy clouds prevent sunlight from entering Indonesia. Sunlight obtained throughout the year can be used to supply alternative electrical power besides using electricity sourced from PLN and solar energy is a type of renewable energy that can be used without limits and earned for free. Based on the conditions that occur for the battery charging process to store solar energy from solar panels, a converter is needed to stabilize and control the voltage in solar cell charging so that it is more efficient and does not damage the battery, it is necessary to design a converter that can change the output voltage from the panel from a small voltage to large voltages and vice versa, the CUK type dc-dc converter is used in its operation and the control strategy that can be implemented is by using the Fuzzy Logic Control method. To get a 28 volt setpoint for charging the battery with the best response for 2 hours, 3 minutes, 33 seconds from a 400 Wp solar panel, the energy can be harvested as much as 275,625 Wh to charge a 24 volt ferrara battery with an efficiency of 65% with a maximum power of 60 Watts. The energy produced by the panelsurya is 420,48 Wh. Performance Cuk converter with fuzzy control when applied to the charging process has a good performance. The resulting charging power when the voltage is 28 volts is 18.52 watts. With the charging process using 2 batteries in a series with a capacity of 3.5 Ah which takes 2 hours from a voltage of 24.32 volts to 28.34 volts.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem Solar Charger Berbasis *Cuk converter* Dengan Kontrol *Fuzzy Logic*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Utama serta Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota;
4. Bapak Andi Setiawan, ST., MT. selaku Dosen Penguji 1 serta Bapak Abdur Rohman, S.T., M.Agr., Ph.D selaku Dosen Penguji 2;
5. Bapak Arizal Mujibtamala Nanda Imron S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik;
6. Bapak Akhmad Kumaedi dan Ibu Suprihatin, selaku kedua orang tua penulis;
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu;

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini, Terima Kasih.

Jember, 5 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN.....	viii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terkait	5
2.2 Panel Surya	5
2.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya.....	6
2.2.2 Pemodelan Sel Surya	8
2.2.3 Karakteristik Panel Surya.....	9
2.2.4 Jenis-Jenis Sel Surya.....	10
2.3 <i>Cuk converter</i>	13
2.3.1 Prinsip Kerja <i>Cuk Converter</i>	13
2.3.2 Parameter Perancangan <i>Cuk Converter</i>	18
2.4 Sinyal <i>PWM</i>	26
2.5 Sensor Arus ACS 712.....	25

2.6	Arduino Uno	27
2.7	Sensor Tegangan.....	28
2.8	Baterai atau ACCU.....	29
2.8.1	<i>Charging</i>	29
2.8.2	<i>Discharging</i>	29
2.9	IDE Arduino	30
2.10	<i>Fuzzy Logic</i>	31
2.10.1	Pengertian <i>Fuzzy Logic</i>	31
2.10.2	Sistem Fuzzy	38
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		39
3.1	Tempat Penelitian.....	39
3.2	Waktu Penelitian	39
3.3	Tahapan Penelitian.....	39
3.3.1	Alur Penelitian.....	39
3.3.2	Diagram Alur Penelitian	41
3.4	Alat dan Bahan Penelitian.....	41
3.4.1	Alat	41
3.4.2	Bahan	42
3.4.3	Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah:	42
3.5	Rancangan Alat.....	42
3.5.1	Diagram Blok Sistem Pengujian	39
3.5.2	Flowchart	39
3.6	Perancangan Perangkat Keras.....	46
3.6.1	Perancangan Panel Surya	46
3.6.2	Perancangan <i>Driver</i> MOSFET	47
3.6.3	Perancangan <i>Cuk converter</i>	47
3.6.4	Perancangan Sensor Tegangan.....	53
3.6.5	Perancangan Sensor Arus ACS712	54
3.6.6	Merancang Baterai	54
3.6.7	Desain Perancangan dan skematik rangkaian <i>Cuk converter</i> dan Kontroller Arduino	56
3.6.8	Perancangan <i>Fuzzy Logic Control</i>	58
3.7	Desain Alat	46

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	66
4.1 Analisa Pengujian Karakteristik Panel Surya 400 WP	66
4.2 Kalibrasi dan Pengujian Sensor	68
4.2.1 Sensor Tegangan	69
4.2.2 Sensor Arus	70
4.3 Analisa Pengujian Sinyal <i>Pulse Width Modulation</i>	72
4.4 Analisa Pengujian <i>Cuk converter</i> Tanpa Kontrol Fuzzy	75
4.4.1 <i>Cuk converter</i> Tanpa Beban.....	76
4.4.2 <i>Cuk converter</i> Dengan Beban.....	77
4.5 Analisa Pengujian <i>Cuk converter</i> Menggunakan Sistem Kontrol Fuzzy	81
4.6 Pengujian Pengisian Baterai Dengan Sistem	84
BAB 5. PENUTUP	89
5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sel surya yang terbuat dari wafer silikon polycrystalline	6
Gambar 2.2 Struktur dasar sel surya	7
Gambar 2.3 <i>Single Crystalline silicon PV</i>	10
Gambar 2.4 <i>Monocrystalline Solar Panel</i>	11
Gambar 2.5 <i>Polycrystalline Solar Panel</i>	11
Gambar 2.6 <i>Thin film Solar Cell</i>	12
Gambar 2.7 Rangkaian <i>Cuk Convert</i>	13
Gambar 2.8 Bentuk gelombang pada rangkaian <i>Cuk conveter</i>	14
Gambar 2.9 Rangkaian <i>Cuk conveter</i> saat <i>switch on</i> dengan analisa <i>loop</i> kiri	15
Gambar 2.10 Rangkaian <i>Cuk conveter</i> saat <i>switch on</i> dengan analisa <i>loop</i> kanan	16
Gambar 2.11 Rangkaian <i>Cuk conveter</i> saat <i>switch off</i> dengan analisa <i>loop</i> kiri	17
Gambar 2.12 Rangkaian <i>Cuk conveter</i> saat <i>switch off</i> dengan analisa <i>loop</i> kanan	17
Gambar 2.13 Modul Sensor Arus ACS 712	26
Gambar 2.14 Arduino Uno R3	27
Gambar 2.15 Resistor Pembagi Tegangan	28
Gambar 2.16 Baterai atau Accu	288
Gambar 2.17 Tampilan IDE Arduino	29
Gambar 2.18 Representasi kurva linier turun	34
Gambar 2.19 Representasi kurva linier naik	31
Gambar 2.20 Representasi kurva segitiga	35
Gambar 2.21 Representasi kurva trapezium	36
Gambar 2.22 Susunan Sistem Fuzzy	38
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	41
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem	43
Gambar 3.3 Flowchart	47
Gambar 3.4 Rangkaian Modul <i>Solar Cell</i>	46
Gambar 3.5 Rangkaian Driver Mosfet	47
Gambar 3.6 Skematik Rangkaian <i>Cuk Converter</i>	48
Gambar 3.7 Rangkaian Sensor Tegangan	53

Gambar 3.8 Baterai Yuasa YTZ5S	54
Gambar 3.9 Rangkaian Baterai.....	55
Gambar 3.10 Perancangan rangkaian DC – DC <i>Cuk converter</i> di <i>Eagle</i>	56
Gambar 3.11 Skema rangkaian DC – DC <i>Cuk converter</i> di <i>Eagle</i>	56
Gambar 3.12 Skema rangkaian sensor, LCD pada Mikrokontroler Arduino di <i>Eagle</i>	57
Gambar 3.13 Grafik P – V dengan berbagai variasi iradiasi (ΔG)= $200W/m^2$	58
Gambar 3.14 Grafik I – V dengan berbagai variasi iradiasi (ΔG)= $200W/m^2$	59
Gambar 3.15 Blok diagram <i>Fuzzy Logic Control</i> (FLC)	60
Gambar 3.16 <i>Membership Function Error</i>	61
Gambar 3.17 <i>Membership Function Delta Error</i>	62
Gambar 3.18 <i>Membership Function Duty Cycle (D)</i>	62
Gambar 3.19 Desain Alat	64
Gambar 4.1 Grafik Daya Keluaran Panel Setiap 30 menit	68
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Sensor Tegangan dan Multimeter	70
Gambar 4.3 Grafik pengujian sensor ACS712 dan multimeter.....	72
Gambar 4.4 Gelombang saat <i>duty cycle</i> 10%	73
Gambar 4.5 Gelombang saat <i>duty cycle</i> 30%	73
Gambar 4.6 Gelombang saat <i>duty cycle</i> 50%	73
Gambar 4.7 Gelombang saat <i>duty cycle</i> 70%	74
Gambar 4.8 Gelombang saat <i>duty cycle</i> 90%	74
Gambar 4.9 Grafik pengaruh <i>duty cycle</i> terhadap V_{out}	77
Gambar 4.10 Grafik <i>duty cycle</i> terhadap tegangan dengan beban 15 Ohm	73
Gambar 4.11 Grafik <i>duty cycle</i> terhadap arus dengan beban 15 Ohm	73
Gambar 4.12 Grafik <i>duty cycle</i> terhadap daya dengan beban 15 Ohm.....	74
Gambar 4.13 Grafik respon Fuzzy terhadap V_{out} pada resistansi 27 Ω	74
Gambar 4.14 Grafik respon Fuzzy terhadap V_{out} pada resistansi 15 Ω	77
Gambar 4.15 Grafik V_{in} dan V_{out} terhadap waktu.....	794
Gambar 4.16 Grafik P_{in} dan P_{out} <i>Cuk converter</i> saat pengisian baterai.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Datasheet Arduino UNO	39
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	39
Tabel 3.2 Data Spesifikasi Panel Surya	46
Tabel 3.3 Desain Awal Rangkaian <i>Cuk Conveter</i>	48
Tabel 3.4 Parameter Rangkaian <i>Cuk Conveter</i> Konvensional	53
Tabel 3.5 Fungsi Pin Sensor Arus ACS712	54
Tabel 3.6 Spesifikasi Baterai Yuasa 46B24R-NS-60	54
Tabel 3.7 <i>Rule Base</i> pada <i>Fuzzy logic</i>	63
Tabel 4.1 Hasil Karakteristik Panel Surya	66
Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor tegangan.....	69
Tabel 4.3 Hasil pengujian sensor ACS712.....	71
Tabel 4.4 Data pengujian PWM	73
Tabel 4.5 Pengujian <i>Cuk converter</i> tanpa beban	76
Tabel 4.6 Hasil pengujian <i>Cuk converter</i> dengan beban 15 ohm.....	78
Tabel 4.7 Performa kontrol Fuzzy dengan beban 27 ohm dan 15 ohm	83
Tabel 4.8 Pengisian baterai dengan <i>Cuk converter</i> dengan kontrol fuzzy.....	83

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama manusia di dunia. Selama berjuta-juta tahun bahan bakar fosil telah menjadi sumber utama energi di dunia. Pembakaran bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi karbondioksida dapat menyebabkan polusi udara serta pemanasan global. Salah satu alternatif untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbondioksida yaitu dengan cara mengganti bahan bakar fosil dengan sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan yang berkelanjutan seperti matahari, angin, panas bumi, pasang surut air laut, gelombang air laut dan biomassa sedang dikembangkan di Indonesia. Pada saat ini ilmuwan, insinyur dan peneliti menemukan cara untuk mengatasi masalah ini dengan menciptakan cara-cara yang efisien untuk memanfaatkan energi terbarukan, seperti energi matahari yang tidak menghasilkan emisi karbondioksida dan polusi.

Sistem pembangkit listrik dengan menggunakan panel surya dapat diterapkan secara personal, akan tetapi masih terdapat kelemahan dari sistem panel surya yaitu tentang bagaimana kondisi lingkungan meliputi kondisi cuaca dan suhu lingkungan disekitarnya. Masalah tersebut juga menyebabkan tidak stabilnya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Besar kecilnya energi yang dihasilkan tergantung dari irradiasi dari cahaya matahari itu sendiri. Jadi semakin besar irradiasi yang diterima panel surya maka energi yang dihasilkan semakin besar begitu sebaliknya.

Radiasi matahari biasanya digunakan untuk menghitung estimasi daya keluaran pada instalasi sistem. *Irradiance* merupakan sumber energi bagi panel surya, sehingga keluarannya sangat bergantung oleh perubahan *irradiance*. Perubahan irradiasi matahari mempengaruhi besar kecilnya tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya. Keluaran daya berbanding lurus dengan *irradiance*. I_{sc} lebih terpengaruh oleh perubahan *irradiance* dari pada V_{oc} . Pada saat *irradiance* tinggi, yaitu pada saat jumlah foton banyak maka arus dan tegangan yang dihasilkan juga besar. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel

surya dapat disimpan disebuah baterai. Namun sebelum hal itu dilakukan maka diperlukan proses konverter yang digunakan untuk menstabilkan dan mengontrol tegangan dalam pengisian *solar cell* agar lebih efisien dan tidak merusak baterai, maka perlu dirancang sebuah konverter yang dapat mengubah tegangan keluaran dari panel dari tegangan kecil menjadi tegangan yang besar dan begitu juga sebaliknya, maka digunakan konverter dc-dc konverter jenis CUK dalam pengoperasiannya.

Cuk conveter sangat efektif untuk pengisian baterai dengan panel surya. CUK adalah jenis dc-dc konverter yang memungkinkan output tegangan lebih besar dari atau kurang dari tegangan input, output dari CUK dikendalikan oleh *duty cycle* dari kontrol MOSFET. (W. Hart Danial, 2010)

Dari permasalahan diatas dapat dirancang alat untuk mendapatkan energi listrik yang ramah lingkungan yaitu “Rancang Bangun Sistem Solar Charger Berbasis *Cuk conveter* Dengan Kontrol *Fuzzy Logic*”. Pada penelitian ini panel yang digunakan adalah jenis panel 400 WP *Polycrystalline* dan ditambahkan komponen-komponen pendukung seperti sensor arus dan sensor tegangan yang memiliki berfungsi sebagai memonitoring arus dan tegangan. Pada Rancang Bangun *Cuk conveter* dengan Kontrol *Fuzzy Logic* yang diimplementasikan dalam Sistem Pengisian *Solar Cell*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rancang bangun sistem solar *charger* berbasis *Cuk conveter* dengan kontrol *fuzzy logic*.
2. Bagaimana sistem *control fuzzy* untuk mendapatkan tegangan keluaran yang stabil.
3. Bagaimana respon dari suatu solar *charging* ketika berbeban dengan menggunakan kontrol *Fuzzy Logic* untuk solar *charger*.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan memiliki beberapa tujuan untuk dicapai sebagai pencapaian akhir sebagai berikut :

1. Membuat rancang bangun *Cuk conveter* untuk pengisian baterai menggunakan panel surya
2. Mengatur kestabilan tegangan keluaran dari *Cuk conveter* agar lebih efisien
3. Mengetahui perbedaan respon konverter cuk ketika menggunakan kontrol *Fuzzy Logic* dan tidak menggunakan kontrol *Fuzzy Logic*.
4. Mengetahui respon *Fuzzy Logic* ketika *Cuk conveter* melakukan *charging* baterai.

Mengetahui tegangan output dari *solar cell* ketika irradiasi matahari berubah-ubah.

1.4 Manfaat Penelitian

Pada penelitian yang akan di lakukan ini memiliki beberapa manfaat sebagai pencapaian akhir diantaranya yaitu :

1. Untuk mengontrol dan memperbaiki tegangan keluaran pada solar charger agar stabil. Untuk mendapatkan kestabilan tegangan keluaran pada panel surya yaitu dengan perancangan sistem pengisian solar *cell* menggunakan *Cuk conveter* dengan metode *Fuzzy Logic*.
2. Untuk memberikan pandangan kepada masyarakat bahwa *energy* yang bersumber dari matahari dapat dimanfaatkan secara maksimal, karena *energy* matahari merupakan salah satu *energy* yang selalu tersedia pada daerah yang beriklim tropis dan dapat dimanfaatkan sebagai *energy* listrik.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian masalah tersebut, maka pembahasan pada skripsi dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

- a. Panel surya yang digunakan berkapasitas 400 WP *polycrystalline*
- b. Tidak membahas kelembaban, suhu dan kemiringan pada panel surya

- c. Analisa hanya dititik beratkan pada tegangan keluaran panel surya 60-80 Volt dan tegangan keluaran pada *Cuk conveter* 24-28 Volt(*constant voltage*).
- d. Pengujian *Cuk conveter* untuk men *charger* dari solar modul ke baterai.
- e. Baterai yang digunakan berkapasitas 24 Volt 3.5Ah
- f. Beban yang digunakan berupa resistor 15 Ohm dan 27 Ohm



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini pengembangan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh saudara Bayu Yamani (2015). Penelitian ini sistem pengisian baterai menggunakan solar cell dengan judul “Sistem Konverter Dc/Dc Tipe Cuk Dengan Kontrol *Fuzzy Logic* Untuk Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan *Solar Cell*”. Penelitian ini menggunakan metode *Fuzzy Logic*, dengan tegangan keluaran yang dihasilkan kurang stabil, dengan menggunakan metode ini waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady state* terbilang cukup cepat, namun *overshoot* yang dihasilkan masih cukup besar dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk pengisian baterai.

Sedangkan pada penelitian akan dilakukan pengembangan yaitu “Rancang Bangun Sistem Solar Charger Berbasis *Cuk Converter* dengan Kontrol *Fuzzy Logic*” yang mana dengan menggunakan metode ini, dapat mengurangi dan meningkatkan efisiensi nilai *overshoot* pada tegangan keluaran dari *CUK converter*, sehingga pengaruh dengan menggunakan kontrol Fuzzy Logic dapat memperbaiki nilai tegangan keluaran yang akan lebih cepat dan stabil.

2.2 Panel Surya

Sel surya merupakan sebuah alat yang terbuat dari bahan berjenis semikonduktor yang terdiri dari pertemuan p-n junction dengan menggunakan prinsip efek photovoltaic. Sehingga dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang bermanfaat dan ramah lingkungan. Efek photovoltaic adalah timbulnya energi listrik dampak dari kontak dua elektroda yang dihubungkan pada bentuk cairan atau padat yang menghasilkan energi matahari. Bidang penelitian yang berhubungan dengan sel surya salah satunya adalah photovoltaic.

Suatu sistem yang berguna untuk menmindah irradisi matahari menjadi energi listrik biasanya disebut fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik yaitu tanda bahwa suatu sel fotovoltaiik dapat menyerap irradiasi matahari dan mengkonversikannya

menjadi energi listrik. Pertanda munculnya tegangan listrik pada panel surya yang dipicu oleh sistem padat atau cair yang terhubung dengan dua elektroda dengan kondisi tersinari irradiasi matahari disebut efek fotovoltaiik. Iradiasi matahari terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Untuk menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya maka dapat dilihat dari perbedaan tingkat energi dari foton. Timbulnya energi listrik dikarenakan foton yang diserap oleh sel surya .



Gambar 2.1 Sel surya yang terbuat dari wafer silikon polycrystalline
(source:Wikipedia.org)

Sel surya mempunyai banyak pengaplikasian dalam kehidupan manusia di bumi. Penggunaan dan pengaplikasian yang cocok bila digunakan untuk energi listrik dari grid atau PLN apabila tidak tersedia, seperti pada daerah terpencil, satelit pengamat bumi, pompa air ,kalkulator dll. Panel surya bisa dipasang dilahan yang luas atau juga bisa dipasang di atap bangunan atau gedung bila tidak memiliki lahan yang luas. Panel surya akan terhubung dengan inverter kemudian ke grid listrik milik PLN dalam bentuk pengaturan net metering dimana meskipun memasang pembangkit listrik tenaga surya untuk kebutuhan listrik akan tetapi harus tetap menggunakan jaringan listrik grid atau PLN . Banyak bahan jenis semikonduktor yang digunakan untuk bahan dasar pembuatan panel surya antara lain yaitu semikonduktor jenis Silikon, Germanium, Titanium Oksida dll.

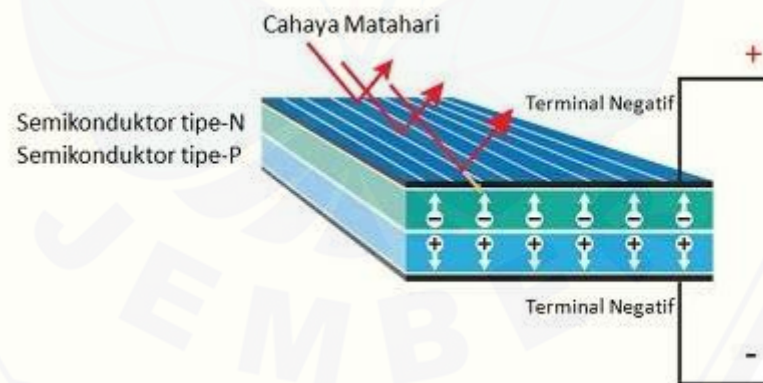
2.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Radiasi sinar matahari tersusun atas atom yang sangat kecil yang berukuran micro hingga nano yang biasanya disebut dengan foton.Ketika foton terkena sinar matahari maka foton tersebut menghantam atom semikonduktor silikon pada panel surya sehingga memicu energi yang lumayan tinggi untuk

memecah elektron dari struktur atomnya. Elektron yang bermuatan negatif (-) dan yang terpisah dari struktur atomnya akan berpindah bebas pada wilayah konduksi dari material semikonduktor. Atom yang kehilangan elektronnya pasti mengalami kekosongan “hole” pada struktur atomnya biasanya disebut dengan elektron yang bermuatan positif (+).

Semikonduktor tipe N (N-tipe) adalah semikonduktor bersifat negatif dengan elektron bebas yang bersifat negatif atau berlaku sebagai pendonor elektron. Sedangkan semikonduktor dengan tipe P (P-tipe) adalah semikonduktor yang memiliki hole yang bersifat positif atau bersifat sebagai penerima elektron .

Pada persimpangan daerah yang bersifat positif dan negatif atau disebut juga P-N Junction, yang dapat memunculkan energi yang akan mendesak elektron dan hole untuk berpindah ke arah yang bertentangan. Elektron-elektron semikonduktor tersebut dapat berpindah menjauhi area yang bersifat negatif sedangkan hole akan berpindah menjauhi daerah yang bersifat positif. Arus listrik akan timbul jika sebuah sel surya diberikan sebuah beban berupa perangkat listrik seperti lampu ataupun alat elektronik lainnya di persimpangan Positif dan Negatif atau disebut P-N Junction.



Gambar 2.2 Struktur dasar sel surya

(source : www.google.com)

Intensitas irradiasi matahari atau intensitas radiasi matahari merupakan parameter yang sangat penting dalam kinerja sebuah panel surya, adalah banyaknya sinar matahari yang datang ke permukaan panel surya per luas area.

Konstanta surya adalah iradiasi cahaya matahari diluar daerah atmosfer bumi. Besar nilai konstanta surya yaitu sebesar 1365 W/m².

Besar intensitas puncak radiasi matahari sekitar 1000 W/m² ketika intensitas radiasi matahari dipilah-pilah oleh atmosfer bumi dan sebagian spectrum cahaya matahari akan lenyap. Nilai intensitas teratas dari radiasi matahari sebesar 1000 W/m² ini merupakan tipe intensitas radiasi matahari pada saat keadaan permukaan panel surya tegak lurus dengan sinar matahari dan ketika dalam keadaan sinar matahari cerah. Banyak sedikitnya nilai daya yang diproduksi oleh panel surya bergantung pada nilai irradiansi sinar matahari yang masuk ke permukaan panel surya. Semakin tinggi nilai irradiansi matahari yang terserap oleh panel surya maka semakin tinggi daya yang dihasilkan panel surya.

2.2.2 Pemodelan Sel Surya

Pengoperasian maximum Sel Surya sangat tergantung pada :

1. Ambient air temperature

Sel Surya dapat bekerja secara maksimal apabila temperatur sel normal yaitu ketika temperature sel 25 derajat Celsius. Apabila sel surya mengalami kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperature normal maka sel surya akan melemahkan tegangan (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya 1 derajat celsius dari temperatur normal mengakibatkan berkurangnya total tenaga yang dihasilkan sekitar 0.4 % dan akan melemah 2x lipat ketika kenaikan temperatur Sel setiap 10 derajad Celsius.

2. Radiasi solar matahari (*insolation*)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi ini biasanya disebut insolation. Dimana insolation di setiap daerah atau lokasi berbeda-beda dan sangat tergantung oleh keadaan intensitas radiasi matahari yang masuk ke dalam atmosfer bumi. Radiasi cahaya matahari berpengaruh banyak terhadap arus yang dikeluarkan panel surya. Karena semakin besar nilai insolation atau radiasi matahari maka arus listrik yang dikeluarkan oleh panel surya akan semakin meningkat.

3. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan angin yang bertiup di angin disekeliling lokasi pemasangan PV array dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca pada PV array serta dapat menurunkan temperature yang tinggi pada panel surya sehingga panel surya yang digunakan awet dan dapat digunakan dengan janga waktu yang panjang.

4. Keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer bumi dapat mempengaruhi hasil maximum arus listrik yang dihasilkan oleh PV array seperti kondisi atmosfer bumi yang berawan, mendung, uap air udara atau disebut (Rh), jenis partikel-partikel debu di udara, asap pembakaran, polusi udara dan kabut banyak berpengaruh terhadap perolehan maximal arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya

5. Orientasi pada panel atau array PV

Penyesuaian pemasangan rangkaian PV (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar PV dapat menghasilkan energi secara maximum dan optimal. Selain arah pemasangan yang harus disesuaikan, penyesuaian sudut pemasangan PV juga sangat mempengaruhi terhadap hasil energi maximum. Orientasi array PV dari peletakan panel surya untuk daerah yang berada di garis lintang Utara , maka panel surya atau PV array sebaiknya ditempatkan atau dihadapkan ke arah garis lintang Selatan, penyesuaian panel surya ke arah Barat sampai ke arah Timur meskipun dapat menghasilkan energi dari panel surya atau PV array akan tetapi energi dari matahari yang terserap oleh panel surya kurang maximal.

Peletakan lokasi pemasangan panel surya sangat berpengaruh terhadap arah datangnya radiasi matahari yang masuk ke panel surya, untuk mempertahankan radiasi matahari agar tetap jatuh ke permukaan panel surya dengan posisi tegaklurus dan menghasilkan energi matahari secara maximal yaitu sebesar 1000 W/m^2 atau 1 kW/m^2 . Tambahan pada luasan permukaan panel surya dibutuhkan permukaan panel surya terhadap ketinggian matahari yang berubah-ubah setiap detik dalam sehari atau bisa juga dengan menggunakan reflector apabila panel surya tidak dapat mempertahankan ketegaklurusan antara

bidang panel surya dengan sinar matahari agar mendapat energy matahari secara maximal .

2.2.3 Karakteristik Panel Surya

Berikut ini merupakan karakteristik Arus dan Tegangan pada panel surya ketika panel surya terkena cahaya matahari:

$$I = I_{sc} \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) - I_L \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan :

- I_L = Arus konstan yang dihasilkan oleh cahaya datang (A)
- I_{sc} = Arus saturasi atau arus keluaran sel surya ketika rangkaian luarnya terhubung singkat (A)
- K = Konstanta Boltzmann ($8,617 \times 10^{-5}$ eV/K)
- Q = Muatan listrik (C)
- V = Tegangan *output* (V)

Berikut ini persamaan karakteristik tegangan keluaran (V_{oc}) pada saat $I=0$:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_{sc}} + 1 \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Secara teoritis besarnya daya yang dihasilkan adalah :

$$P_{th} = V_{oc} I_{sc} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan V_{oc} tegangan r'angkaian terbuka (*open circuid*) dan I_{sc} arus singkat (*short circuit*) sedangkan daya keluaran maksimumnya adalah :

$$P_{mp} = V_{mp} I_{mp} \dots\dots\dots(2.4)$$

- V_{mp} = Tegangan dari daya keluaran maksimum
- I_{mp} = Arus dari daya keluaran maksimum

Kondisi daya maksimum dapat tercapai ketika

$$\frac{\partial P}{\partial V} = 0 \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana

$$P = VI = VI_{sc} \left(e^{\beta V} - 1 \right) - I_L \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan $\beta = \frac{q}{kT}$ maka diperoleh

$$(1 + \beta V_{mp}) e^{\beta V_{mp}} = 1 + \frac{I_L}{I_{SC}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Secara teoritis V_{mp} dapat diketahui dengan menggunakan metode iterasi dengan nilai tegangan awal 0,5 V yaitu 0,5 V; 0,542 V; 0,54 V.

2.2.4 Jenis-Jenis Sel Surya

1. *Single Crystalline*

Single Crystalline adalah kristal yang mampu menghasilkan efisiensi yang bernilai sangat tinggi. Berikut ini merupakan jenis single crystalline :

a. Gallium Arsenide Cell

Jenis sel surya ini merupakan jenis sel surya yang sangat efisien dari semua jenis sel, akan tapi harganya sangat mahal. Besar nilai efisiensi dari sel surya jenis ini sebesar 25 %.

b. Cadmium Sulfide Cell

Jenis sel surya ini merupakan suatu bahan yang bisa dipertimbangkan dalam pembuatan solar cell dikarenakan mudah dalam proses pemuatan dan harganya yang murah.



Gambar 2.3 *Single Crystalline silicon PV*

(source : www.google.com)

2. *Monocrystalline*

Monocrystalline adalah jenis sel yang terbuat dari batangan kristal yang diiris tipis – tipis. Jenis sel ini memiliki efisiensi mencapai 15% – 20 %. Sel surya tipe *monocrystalline* memiliki kelemahan yaitu potongan dari setiap sel surya nya berupa segi 6, 8 maupun bulat dan apabila disusun bersama sel surya yang lainnya

akan membentuk *hole*. Hal ini akan mengakibatkan kurangnya kerapatan sel surya apabila disusun pada skala besar menimbulkan ruang sisa yang tidak berguna dan cukup banyak.



Gambar 2.4 *Monocrystalline* Solar Panel

(source : www.google.com)

3. *Polycrystalline*

Polycrystalline adalah jenis sel yang terbuat dari beberapa batang kristal silikon dengan proses peleburan kemudian dituang kedalam cetakan yang biasanya berbentuk persegi. Sel surya jenis *polycrystalline* ini memiliki efisiensi sebesar 13% – 16 %. Karena potongan yang berbentuk dari sel ini persegi maka *polycrystalline* dapat disusun lebih rapat daripada monocrystalline, sehingga dapat mengurangi ruang kosong diantara sel surya.



Gambar 2.5 *Polycrystalline* Solar Panel

(source : www.google.com)

4. *Thin-film Solar Cell* (TFSC)

Jenis sel surya ini memiliki kerapatan atom yang sangat rendah, sehingga mengakibatkan jenis sel surya ini mudah dibentuk serta dikembangkan ke berbagai macam bentuk dan ukuran. Biaya prosukai untuk pembuatan *Thin-film Solar Cell* lebih murah. Berdasarkan materialnya sel surya jenis TFPC dapat digolongkan sebagai berikut :

a. Amorphous Silicon (a-Si)

Sel surya jenis ini sering dijumpai pada kalkulator, jam tangan, dan mainan anak – anak. Efisiensi dari jenis ini terbilang rendah yaitu sekitar 6% sampai 8%.

b. Cadmium Telluride (CdTe)

Sel surya jenis ini mengandung bahan Cadmium Telluride yang mempunyai efisiensi sebesar 9% sampai 11% lebih tinggi daripada sel surya jenis Amorphous Silicon.

c. Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)

CIGS merupakan jenis sel surya yang mempunyai nilai efisiensi tertinggi dari sel surya jenis yang lain karena nilai effisiensinya sebesar 10% sampai 12%.



Gambar 2.6 *Thin film Solar Cell*

(source : www.google.com)

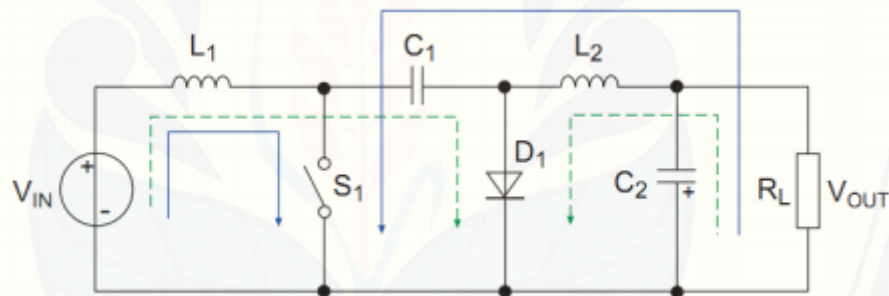
2.3 *Cuk converter*

Konverter dc/dc yang menggunakan prinsip *switching* salah satunya yaitu konverter dc/dc dengan topologi CUK. *Cuk converter* dapat berfungsi untuk menurunkan dan menaikkan tegangan. Prinsip kerja dari *Cuk converter* ini hampir sama dengan *buck-boost* konverter akan tetapi terdapat perbedaan dari segi rangkaian dan lebih efisien.

Cuk converter sangat efisien karena tegangan yang dihasilkan dari konversi *input* menjadi tegangan *output* dc dibandingkan boost dan *flyback*

konverter ditinjau dari *ripple* tegangan *output* yang dihasilkan oleh konverter. Sumber tegangan *input* *Cuk converter* dapat diaplikasi menggunakan *Photo Voltaic* atau menggunakan panel *solar cell* sebagai sumber tegangan *input* dc ataupun bisa menggunakan sumber baterai .(W. Hart Danial, 2010)

Cuk converter merupakan dc/dc konverter dengan besarnya tegangan *output* dari konverter yang dapat diubah menjadi lebih rendah atau lebih tinggi dari tegangan *input*. Besarnya tegangan *output* yang dihasilkan bisa menjadi lebih rendah atau lebih tinggi daripada *input*, dan tegangan *output* dari *Cuk converter*. *Cuk converter* memiliki polaritas terbalik dari tegangan masukannya. Induktor pada bagian *input* berfungsi sebagai filter untuk mengurangi nilai *harmonic* semakin tinggi. Kapasitor C_1 *Cuk converter* pada berfungsi sebagai pentransfer energi berbeda dengan topologi konverter sebelumnya dimana transfer energi dikaitkan dengan induktor.



Gambar 2.7 Rangkaian *Cuk Converter* (Motion & Tuning, 2018)

Tegangan rata di C_1 . dihitung dari hukum tegangan *Kirchhoff* di sekitar lingkaran terluar. Tegangan rata-rata di seluruh induktor adalah nol untuk operasi *steady state*.

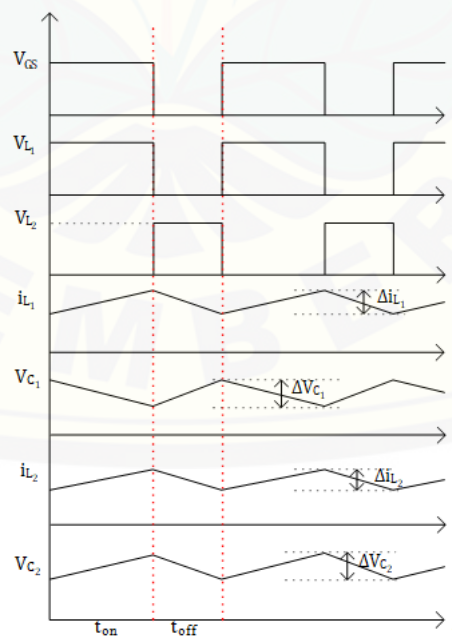
2.3.1 Prinsip Kerja *Cuk Converter*

Induktor pada bagian *input* berfungsi sebagai filter untuk mensuplay DC agar mengurangi nilai *harmonic* yang tinggi. Transfer energi pada *Cuk converter* terletak pada kapasitor sedangkan pada topologi jenis konverter sebelumnya transfer energi terletak pada *inductor*. (W. Hart Danial, 2010)

Berikut ini merupakan analisa pada *Cuk converter* berdasarkan beberapa asumsi:

1. Pada *Cuk converter* terdapat dua buah induktor yang memiliki nilai induktansi yang besar agar arus yang dihasilkan konstan.
2. Pada *Cuk converter* terdapat dua buah kapasitor yang mempunyai nilai kapasitansi cukup besar agar tegangan keluaran yang dihasilkan konstan.
3. Rangkaian pada *Cuk converter* dijalankan pada saat kondisi *steady state*, dimana gelombang periodik merupakan gelombang arus dan gelombang tegangan..
4. Untuk *duty cycle* (D) dan *switch* (S1) menyala pada saat t_{on} . Dimana t_{on} adalah perkalian periode (T) dengan *duty cycle*. Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu gelombang penuh. Secara matematis dapat dituliskan $t_{on} = D.T$. Selanjutnya, *switch* (S1) mati pada saat t_{off} . Dimana t_{off} merupakan perkalian antara $(1-D).T$.
5. Pada rangkaian *Cuk converter* diode dan *switch* (mosfet) merupakan komponen yang ideal.

Prinsip kerja dari *Cuk converter* dapat dianalisa dengan dua keadaan, yaitu ketika *switch on* atau t_{on} dan ketika *switch off* atau t_{off} . Gambar bentuk gelombang pada rangkaian *Cuk conveter* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Bentuk gelombang pada rangkaian *Cuk conveter*(Susanto, 2017)

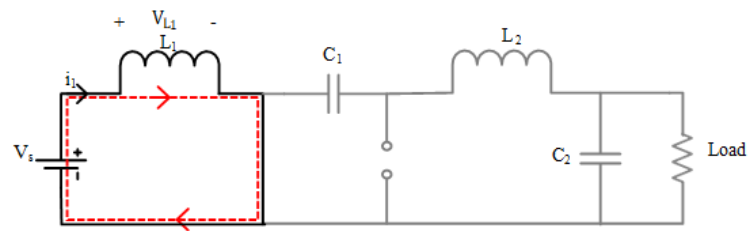
Bentuk gelombang pada rangkaian *Cuk converter* dapat dilihat pada gambar 2.8. V_{GS} adalah tegangan pensaklaran pada bagian *gate-source*, V_{L_1} adalah tegangan pada induktor bagian *input* (L_1), V_{L_2} adalah tegangan pada induktor bagian *output* (L_2), i_{L_1} adalah arus pada bagian *input* pada induktor L_1 , V_{C_1} adalah tegangan pada kapasitor pentransfer tegangan (C_1), i_{L_2} merupakan arus pada bagian *output* pada induktor L_2 dan V_{C_2} adalah tegangan pada kapasitor filter (C_2) di bagian tegangan *output*.

Pada saat kondisi *switch on*, maka *switch* pada keadaan tertutup dan V_{GS} akan aktif yang mengakibatkan arus mengalir melalui *switch* dan dioda dalam keadaan *reverse bias*. Pada keadaan ini, arus pada bagian *input* akan mengalami pengisian energi dari tegangan sumber dan kapasitor pentransfer tegangan (C_1) akan mengalami keadaan *discharge* oleh arus dari induktor bagian *output* (L_2). Sehingga arus pada induktor sisi *output* akan mengalami pengisian energi. Pada saat *switch off*, *switch* dalam keadaan terbuka dan dioda dalam keadaan *forward bias* dimana V_{GS} akan *off*. Sehingga, arus dari induktor bagian *input* (L_1) dan induktor bagian *output* (L_2) akan mengalir melalui dioda dalam kondisi pengosongan energi. Pada keadaan ini kapasitor pentransfer tegangan (C_1) akan mengalami kondisi *charge* oleh arus dari induktor sisi *input* (L_1).

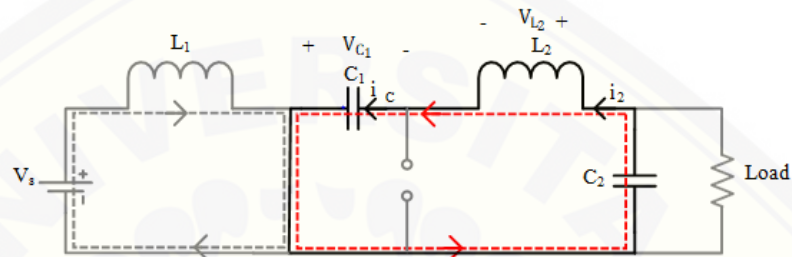
Prinsip kerja dari *Cuk converter* dapat dibagi menjadi 2 kondisi yaitu :

1. Analisis Prinsip Kerja *Cuk converter* ketika Saklar Tertutup (*Switch On*)

Pada saat saklar dalam kondisi tertutup, maka dioda akan mengalami *reverse bias* yang mengakibatkan arus mengalir melalui *saklar*. Pada kondisi ini, induktor bagian *input* (L_1) akan mengalami *charging* energi oleh sumber tegangan DC dapat dilihat pada gambar 2.9. Sedangkan untuk induktor pada bagian *output* (L_2) juga mengalami *charging* energi oleh kapasitor pentransfer tegangan (C_1) dan kapasitor filter (C_2) juga mengalami pengisian energi oleh kapasitor pentransfer tegangan (C_1) yang hanya berfungsi sebagai pengurang riak gelombang pada bagian beban yang dapat dilihat pada gambar 2.10.(Susanto, 2017)



Gambar 2.9 Rangkaian *converter* saat *switch on* dengan analisa *loop* kiri(Susanto, 2017)



Gambar 2.10 Rangkaian *Cuk converter* saat *switch on* dengan analisa *loop* kanan(Susanto, 2017)

Pada gambar 2.9 dengan menggunakan analisis rangkaian *loop* tertutup maka akan didapatkan persamaan berikut ini:

$$-V_s + V_{L_1(on)} = 0$$

Dengan cara memindah ruaskan V_s ke bagian sebelah kanan, maka akan didapatkan hasil persamaan baru sebagai berikut :

$$V_{L_1(on)} = V_s \dots \dots \dots (2.8)$$

Nilai tegangan pada induktor L_1 mempunyai nilai yang sama dengan nilai tegangan sumber DC dapat diketahui pada persamaan 2.8. Pada analisis gambar 2.10, maka didapatkan persamaan berikut ini :

$$-V_{C_1} - V_o + V_{L_2(on)} = 0$$

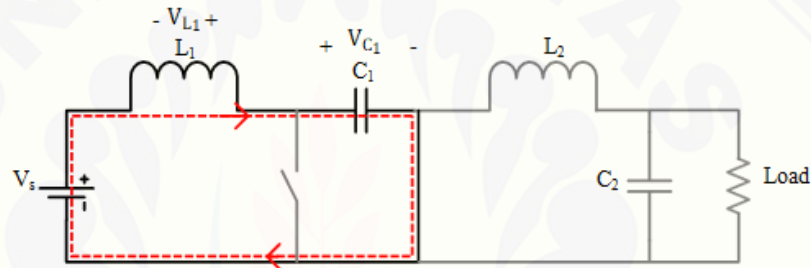
Dengan cara memindah ruaskan V_o dan V_{C_1} ke ruas sebelah kanan, maka akan didapatkan hasil persamaan baru berikut ini:

$$V_{L_2(on)} = V_{C_1} + V_o \dots \dots \dots (2.9)$$

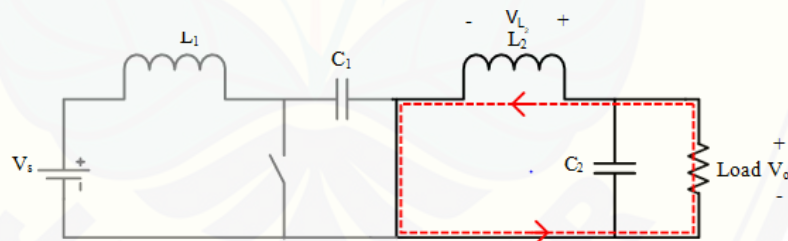
Dari persamaan 2.9 didapatkan hasil bahwa nilai tegangan induktor pada bagian *output* L_2 mempunyai nilai yang sama dengan nilai pengurangan tegangan antara tegangan *output* dengan kapasitor pantransfer (C_1).

2. Analisis Prinsip Kerja *Cuk converter* ketika Saklar Terbuka (*Switch Off*)

Dioda akan mengalami kondisi *reverse bias* pada saat saklar terbuka yang mengakibatkan arus akan mengalir melalui dioda. Arus yang mengalir melalui dioda adalah arus dari induktor *input* (L_1) dan induktor *output* (L_2). Pada saat kondisi ini maka kapasitor pentransfer tegangan (C_1) mengalami *charging* dan akan mendapat aliran energi dari sumber tegangan DC dan induktor *input* (L_1) dan dapat dilihat pada gambar 2.11. Sedangkan untuk induktor *output* (L_2) akan mengalami pengosongan arus dan mengalirkan energi ke beban. Kapasitor filter (C_2) akan mengalirkan energi ke beban dapat dilihat pada gambar 2.12.(Susanto, 2017)



Gambar 2.11 Rangkaian *Cuk converter* saat *switch off* dengan analisa *loop* kiri(Susanto, 2017)



Gambar 2.12 Rangkaian *Cuk conveter* saat *switch off* dengan analisa *loop* kanan(Susanto, 2017)

Dengan cara menggunakan analisis rangkaian *loop* tertutup pada gambar 2.11 maka didapatkan dua persamaan berikut ini :

$$-V_s + V_{L_1(off)} + V_{C_1} = 0$$

Dengan memindah ruaskan V_s dan V_{C_1} ke ruas bagian kanan, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$V_{L_1(off)} = V_s - V_{C_1} \dots\dots\dots(2.10)$$

Nilai induktor *input* (L_1) ketika mengalami pengosongan arus sama dengan nilai dari sumber tegangan DC dikurangi dengan tegangan pada kapasitor pentransfer tegangan (C_1) hal itu didapatkan dari persamaan 2.10. Dari gambar 2.12 maka dapat diperoleh persamaan berikut ini :

$$-V_o + V_{L_2(off)} = 0$$

Dengan memindah ruaskan V_o ke ruas bagian kanan, maka akan didapatkan hasil dari nilai pengosongan arus pada induktor *output* (L_2) berikut ini :

$$V_{L_2(off)} = V_o \dots\dots\dots(2.11)$$

Nilai pengosongan arus pada induktor *output* (L_2) sama dengan nilai tegangan *output* dengan polaritas yang berkebalikan hal itu dapat diketahui dari persamaan 2.11.

2.3.2 Parameter Perancangan *Cuk Converter*

Untuk mendesain sebuah *inductor* banyak parameter yang dibutuhkan agar perancangan mendapatkan hasil yang sesuai dengan target. Pada perancangan *Cuk converter* kali ini akan dilakukan berdasarkan acuan Texas Instrumen. Berikut langkah-langkah dalam mendesain *Cuk converter* (Zhang, 2013) :

1. Penurunan Parameter Rasio Konversi

Penurunan persamaan rasio konversi dapat dilakukan dengan penurunan arus pada kondisi saklar terbuka dan pada kondisi saklar tertutup. Dengan menggunakan prinsip *inductor voltage second balance* akan didapatkan dua buah penurunan persamaan untuk nilai V_{L_1} dan nilai V_{L_2} . Untuk V_{L_1} didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\int_0^{DT} V_{L_1(on)} + \int_{DT}^T V_{L_1(off)} = 0 \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana D merupakan *duty cycle* dan T merupakan periode gelombang *switch on* dan *switch off*. Dengan melakukan substitusi persamaan 2.8 dan persamaan 2.10 ke persamaan 2.12, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$\int_0^{DT} V_s + \int_{DT}^T V_s - V_{C_1} = 0 \dots\dots\dots(2.13)$$

Integral pertama berlangsung pada saat keadaan saklar tertutup yaitu pada rentang waktu 0 sampai DT. Sedangkan integral kedua berlangsung pada saat saklar dalam keadaan terbuka yaitu pada rentang waktu DT sampai T. Setelah dilakukan pengintegralan pada persamaan 2.13, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$V_s \cdot (DT - 0) + (V_s - V_{C_1}) \cdot (T - DT) = 0 \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan melakukan proses distribusi matematika pada persamaan 2.14, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$DT \cdot V_s + T \cdot V_s - DT \cdot V_s - T \cdot V_{C_1} + DT \cdot V_{C_1} = 0 \dots\dots\dots(2.15)$$

Lakukan pembagian pada persamaan 2.15 dengan T, sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$D \cdot V_s + V_s - D \cdot V_s - V_{C_1} + D \cdot V_{C_1} = 0 \dots\dots\dots(2.16)$$

Nilai $D \cdot V_s$ akan saling menghilangkan dengan nilai $-D \cdot V_s$, sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$V_s - V_{C_1} + D \cdot V_{C_1} = 0 \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan memindahruaskan V_{C_1} dan $D \cdot V_{C_1}$ ke ruas kanan, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$V_s = V_{C_1} - D \cdot V_{C_1} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$V_s = (1 - D) \cdot V_{C_1} \dots\dots\dots(2.19)$$

Pada persamaan 2.19 akan dijadikan ke dalam parameter V_{C_1} , sehingga akan menjadi sebagai berikut :

$$V_{C_1} = \frac{1}{1-D} \cdot V_s \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan cara yang sama untuk mencari nilai V_{L_2} akan didapatkan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\int_0^{DT} V_{L_2(on)} + \int_{DT}^T V_{L_2(off)} = 0 \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 2.9 dan 2.11 ke persamaan 2.21, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$\int_0^{DT} V_{C_1} + V_o + \int_{DT}^T V_o = 0 \dots\dots\dots(2.22)$$

Integral pertama berlangsung pada saat keadaan saklar tertutup yaitu pada rentang waktu 0 sampai DT. Sedangkan integral kedua berlangsung pada saat saklar dalam keadaan terbuka yaitu pada rentang waktu DT sampai T. Setelah dilakukan pengintegralan pada persamaan 2.22, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$(V_{C_1} + V_o). (DT - 0) + V_o. (T - DT) = 0 \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan melakukan proses distribusi matematika pada persamaan 2.23, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$DT.V_{C_1} + DT.V_o + V_o - DT.V_o = 0\dots\dots\dots(2.24)$$

Lakukan pembagian pada persamaan 2.24 dengan T, sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$D.V_{C_1} + D.V_o + V_o - D.V_o = 0\dots\dots\dots(2.25)$$

Nilai $-D.V_o$ akan saling menghilangkan dengan nilai $D.V_o$, sehingga akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$D.V_{C_1} + V_o = 0\dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.20 ke persamaan 2.26, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$D.\frac{1}{1-D}.V_s + V_o = 0\dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan melakukan pemindahan ruas persamaan $-D.\frac{1}{1-D}.V_s$ ke ruas sebelah kanan, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut

$$V_o = -D.\frac{1}{1-D}.V_s \dots\dots\dots(2.28)$$

Sehingga, persamaan rasio konversi untuk perbandingan nilai tegangan *output* dengan tegangan *input* adalah

$$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{1}{1-D} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dari persamaan 2.29 dapat diketahui bahwa, nilai tegangan *output* pada *Cuk converter* memiliki polaritas minus yang artinya berkebalikan dengan tegangan *input*. Hal ini sesuai dengan teori yang dijelaskan pada halaman sebelumnya [2].

2. Penurunan Parameter Komponen

Rangkaian *Cuk converter* memiliki parameter berdasarkan gambar 2.7. Parameter tersebut yaitu induktor pada bagian *input* (L_1), kapasitor pentransfer tegangan pada bagian *input* (C_1), induktor pada bagian *output* (L_2), kapasitor filter pada bagian *output* (C_2) dan beban (resistif). Maka dari itu, perlu adanya perhitungan untuk menentukan parameter-parameter tersebut sebagai desain *Cuk converter*. Berikut akan membahas mengenai perhitungan parameter *Cuk converter*. Tahap pertama yaitu melakukan perhitungan untuk menentukan nilai induktor pada sisi *input* (L_1). Perhitungan nilai L_1 dilakukan ketika kondisi saklar dalam keadaan *on*. (Susanto, 2017)

Arus yang mengalir dari sumber tegangan DC menuju induktor *input* (L_1) dan melalui saklar pada saat *on* hal itu diperoleh dari dianalisa berdasarkan gambar 2.9. Berdasarkan *Khircoff Voltage Law* maka didapatkan hasil persamaan sebagai berikut:

$$-V_s + V_{L_1} = 0 \dots\dots\dots(2.30)$$

Dengan memindahruaskan nilai V_s ke sisi sebelah kanan, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$V_{L_1} = V_s \dots\dots\dots(2.31)$$

V_{L_1} merupakan nilai dari $L_1 \cdot \frac{di_1}{dt}$, sehingga persamaan 6.31 dapat diubah menjadi berikut :

$$L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} = V_s \dots\dots\dots(2.32)$$

Nilai $\frac{di_1}{dt}$ merupakan nilai perubahan arus input pada interval waktu tertentu, dimana di_1 merupakan nilai dari *ripple* arus pada sisi *input* (Δi_1) dan dt merupakan fungsi waktu pada saat saklar dalam kondisi *on*. Sehingga, nilai dt sama dengan nilai t_{on} . maka, persamaan 2.32 dapat diubah menjadi :

$$L_1 \cdot \frac{\Delta i_1}{t_{on}} = V_s \dots\dots\dots(2.33)$$

Δi_1 merupakan nilai dari *factor ripple* (λ) yang dikalikan dengan arus dan t_{on} merupakan nilai dari *duty cycle* (D) dikalikan dengan periode satu gelombang penuh (T). Sehingga, persamaan 2.33 dapat diubah menjadi :

$$L_1 \cdot \frac{\lambda \cdot i_1}{D \cdot T} = V_s \dots\dots\dots(2.34)$$

$$L_1 = \frac{V_s \cdot D \cdot T}{\lambda \cdot i_1} \dots\dots\dots(2.35)$$

Berdasarkan persamaan 2.9, nilai D dapat diubah ke dalam bentuk $\frac{V_o}{V_o+V_s}$, nilai T merupakan kebalikan dari nilai frekuensi *switching* (fs) dan nilai i_1 merupakan pembagian antara daya (P) dengan tegangan sumber (V_s). Maka, persamaan 2.35 dapat diubah menjadi :

$$L_1 = \frac{V_s \cdot \frac{V_o}{V_o+V_s}}{\lambda \cdot \frac{P}{V_s} \cdot f_s} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$L_1 = \frac{V_s^2 \cdot V_o}{\lambda \cdot P \cdot f_s \cdot (V_o+V_s)} \dots\dots\dots(2.37)$$

Kedua, akan dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai dari L_2 . Nilai L_2 dapat ditentukan pada saat rangkaian dalam kondisi saklar *off*. Berdasarkan gambar 2.12, akan ada aliran arus dari induktor L_2 menuju ke beban. Sehingga, menurut analisa *Khircoff Voltage Law*, akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$V_{L_2} = V_o \dots\dots\dots(2.38)$$

V_{L_2} merupakan nilai dari $L_2 \frac{di_2}{dt}$, sehingga persamaan 2.38 dapat diubah menjadi berikut :

$$L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} = V_o \dots\dots\dots(2.39)$$

Nilai $\frac{di_2}{dt}$ merupakan nilai perubahan arus *output* pada interval waktu tertentu, dimana di_2 merupakan nilai dari *ripple* arus pada sisi *output* (Δi_2) dan dt merupakan fungsi waktu pada saat saklar dalam kondisi *off*. Sehingga, nilai dt sama dengan nilai t_{off} . maka, persamaan 2.39 dapat diubah menjadi:

$$L_2 \frac{\Delta i_2}{t_{off}} = V_o \dots\dots\dots(2.40)$$

Δi_2) merupakan nilai dari *factor ripple* (λ) yang dikalikan dengan arus dan t_{off} merupakan nilai dari *duty cycle* pada kondisi saklar *off* (1-D) dikalikan dengan periode satu gelombang penuh (T). Sehingga, persamaan 2.40 dapat diubah menjadi :

$$L_2 \frac{\lambda \cdot i_2}{(1-D) \cdot T} = V_o \dots\dots\dots(2.41)$$

$$L_2 \frac{V_o.(1-D).T}{\lambda.i_2} \dots\dots\dots(2.42)$$

Pada perhitungan ini diasumsikan bahwa daya *input* sama dengan daya *ouput*.

$$P_s = P_o$$

$$V_s.i_1 = V_o.i_2$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{V_o}{V_s} \dots\dots\dots(2.43)$$

Berdasarkan persamaan 2.29 mengenai rasio konversi, maka nilai i_2 dapat diubah ke dalam rasio konversi pula menjadi persamaan berikut ini :

$$i_2 = \frac{1-D}{D}.i_1 \dots\dots\dots(2.44)$$

Substitusikan persamaan 2.44 ke dalam persamaan 2.42

$$L_2 = \frac{V_o.(1-D).T}{\lambda.\frac{1-D}{D}.i_1} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$L_2 = \frac{V_o.D.T}{\lambda.i_1} \dots\dots\dots(2.46)$$

Berdasarkan persamaan 2.29, nilai D dapat diubah ke dalam $\frac{V_o}{V_s+V_o}$ nilai T merupakan kebalikan dari nilai frekuensi *switching* (fs) dan nilai i_1 merupakan pembagian antara daya (P) dengan tegangan sumber (V_s) Maka, persamaan 2.46 dapat diubah menjadi :

$$L_2 = \frac{V_o.\frac{V_o}{V_s+V_o}}{\lambda.\frac{P}{V_s}.fs} \dots\dots\dots(2.47)$$

$$L_2 = \frac{V_s.V_o^2}{\lambda.P.fs.(V_o+V_s)} \dots\dots\dots(2.48)$$

Ketiga, akan dilakukan penurunan persamaan untuk menentukan nilai dari kapasitor pentransfer tegangan (C_1). Analisa C_1 dilakukan pada saat rangkaian dalam kondisi saklar *on*. Berdasarkan gambar 2.10, kapasitor C_1 dalam keadaan *discharging*, sehingga akan mengalirkan arus dari kapasitor C_1 menuju ke beban dan ke induktor L_2 . Karena berada pada satu *loop* yang sama, maka besarnya arus dari kapasitor C_1 sama dengan arus yang mengalir ke beban i_2 . Sehingga dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$I_C = i_2 \dots\dots\dots(2.49)$$

I_C merupakan arus yang mengalir pada kapasitor, sehingga dapat diturunkan ke dalam persamaan $C_1 \cdot \frac{dV_C}{dt}$. Sedangkan i_2 merupakan arus yang mengalir ke beban dan dapat diganti dengan persamaan 2.44. Sehingga, persamaan 2.49 dapat diubah menjadi :

$$C_1 \cdot \frac{dV_C}{dt} = \frac{1-D}{D} \cdot i_1 \dots\dots\dots(2.50)$$

dV_C merupakan perkalian antara faktor *ripple* tegangan dengan tegangan maksimal yang dapat ditahan oleh kapasitor C_1 . Kapasitor C_1 merupakan kapasitor pentransfer tegangan, dimana kapasitor C_1 akan dilewati oleh tegangan sumber dan tegangan *output*. Sehingga nilai V_{C_1} sama dengan nilai $V_s + V_o$ [2]. Sedangkan dt merupakan waktu dalam keadaan saklar *on* atau t_{on} . Maka, persamaan 2.50 dapat diubah menjadi :

$$C_1 \cdot \frac{\lambda \cdot (V_s + V_o)}{t_{on}} = \frac{1-D}{D} \cdot i_1 \dots\dots\dots(2.51)$$

Nilai t_{on} merupakan nilai dari *duty cycle* (D) dikalikan dengan satu periode gelombang penuh (T). Dengan merubah nilai t_{on} dan memindahruaskan parameter pada persamaan 2.51, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut :

$$C_1 = \frac{(1-D) \cdot i_1 \cdot D \cdot T}{D \cdot \lambda \cdot (V_o + V_s)} \dots\dots\dots(2.52)$$

Berdasarkan persamaan 2.29, nilai D dapat diubah menjadi bentuk $\frac{V_o}{V_s + V_o}$ nilai T merupakan kebalikan dari nilai frekuensi *switching* (fs) dan nilai i_1 merupakan pembagian antara daya (P) dengan tegangan sumber (V_s). Maka persamaan 2.52 dapat diubah menjadi :

$$C_1 = \frac{\left(1 - \frac{V_o}{V_o + V_s}\right) \cdot P}{\lambda \cdot (V_o + V_s) \cdot f_s} \dots\dots\dots(2.53)$$

$$C_1 = \frac{P}{\lambda \cdot f_s \cdot (V_o + V_s)^2} \dots\dots\dots(2.54)$$

Keempat, akan dilakukan penurunan rumus untuk menentukan nilai kapasitor filter (C_2). Karena kapasitor ini sebagai kapasitor filter, maka penurunannya dapat menggunakan persamaan dasar sebagai berikut:

$$V = I \cdot R \quad \text{atau}$$

$$\Delta V_o = i_2 \cdot X_{C_2} \dots \dots \dots (2.55)$$

Dimana, ΔV_o merupakan ripple tegangan *output* dari rangkaian *Cuk converter* yang dapat diganti dengan persamaan $\lambda \cdot V_o$, i_2 merupakan arus yang mengalir pada beban dan X_{C_2} merupakan impedansi dari kapasitor C_2 yang nilainya sama dengan $\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_2}$. Sehingga, persamaan 2.55 dapat diubah menjadi :

$$\lambda \cdot V_o = i_2 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f_s \cdot C_2} \dots \dots \dots (2.56)$$

Dengan memindahruaskan persamaan 2.56, maka akan didapatkan persamaan untuk menentukan nilai kapasitor filter adalah

$$C_2 = i_2 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f_s \cdot \lambda \cdot V_o} \dots \dots \dots (2.57)$$

2.4 Sinyal PWM

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan sinyal yang digunakan untuk mengendalikan daya pada divais elektronik. *Pulse Width Modulation* menggunakan sebuah gelombang persegi panjang yang lebar pulsanya dimodulasi sehingga menghasilkan variasi pada nilai rata-rata gelombang. Metode *intersective* adalah cara sederhana untuk membuat sinyal PWM. Metode ini menggunakan bentuk sinyal segitiga (*saw tooth*) sebagai komparator dan gelombang modulasi. Sinyal PWM dalam kondisi *High* ketika sinyal referensi (DC) lebih besar dari pada gelombang modulasi dan sebaliknya ketika sinyal PWM dalam kondisi *Low* maka sinyal referensi lebih kecil daripada gelombang. (Anam, 2020)

Duty cycle (D) adalah variabel yang menunjukkan perbandingan antara lebar pulsa dengan kondisi *High* dengan periode satu gelombang dari sinyal PWM, berikut merupakan persamaan dari *duty cycle* :

$$D = \frac{t_{High}}{T} \quad (2.58)$$

2.5 Sensor Arus ACS 712

ACS712 adalah modul sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Modul sensor ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC maupun arus DC. Modul sensor arus ini sudah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, jadi sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Pengaplikasian sensor arus ini digunakan pada bidang industri, komunikasi maupun komersial. Contoh pengaplikasian sensor arus antara lain untuk manajemen penggunaan daya, deteksi penggunaan daya, kontrol motor dan sebagai proteksi terhadap arus lebih.

ACS 712 didukung dengan *interface* I2C atau *Smbus-Compatible* dimana peralatan ini mampu memonitor tegangan *shunt* dan suplai tegangan bus, dengan konversi program *times* dan *filtering*. ACS 712 memiliki sebuah amplifier *input* maksimum adalah $\pm 320\text{mV}$ ini berarti dapat mengukur sampai $\pm 3,2$ A. Dengan internal 12 bit ADC, resolusi pada \pm kisaran 3.2 A adalah 0.8 mA Dengan *gain* internal yang ditetapkan pada minimum $\text{div}8$, maks saat ini adalah $\pm 400\text{mA}$ dan resolusi 0.1 mA. INA 219 mengidentifikasi tegangan *shunt* pada bus 0 – 26 V. Gambar 2.13 menunjukkan modul sensor arus ACS 712.(Allegro®, 2007)

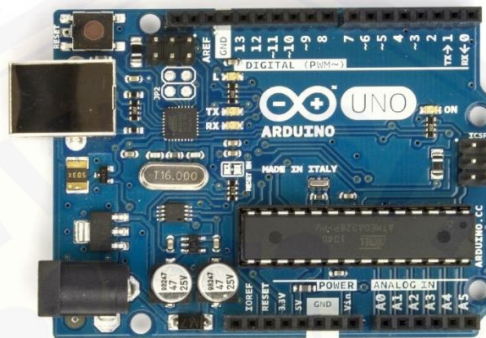


Gambar 2.13 Modul Sensor Arus ACS 712

2.6 Arduino Uno

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATMEGA 328 (datasheet). Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan

Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya. Uno berbeda dari semua papan sebelumnya dalam hal itu tidak menggunakan FTDI chip driver USB-to-serial. Sebaliknya, fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 hingga versi R2) di program sebagai converter USB-to-serial.(Farnell, 2013)



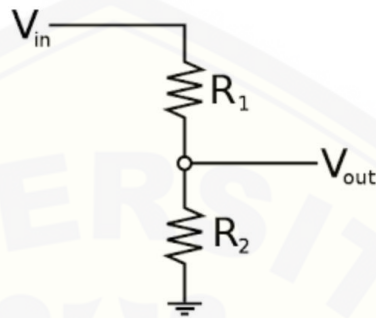
Gambar 2.14 Arduino Uno R3
Tabel 2.1 Datasheet Arduino UNO

<i>Microcontroller</i>	ATmega328
<i>Operating Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12V
<i>Input Voltage (limits)</i>	6-20V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (of which 6 provide PWM output)
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current per I/O Pin</i>	40 mA
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
<i>SRAM</i>	2 KB (ATmega328)
<i>EEPROM</i>	1 KB (ATmega328)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>Length</i>	68.6 mm
<i>Width</i>	53.4 mm
<i>Weight</i>	25 g

2.7 Sensor Tegangan

Tegangan adalah parameter dasar pada dunia elektro baik analog maupun digital. Tegangan adalah besaran analog. Dalam dunia analog tegangan dapat langsung diolah dan diproses atau dikonversikan dalam bentuk lainnya. Sedangkan pada dunia digital tegangan akan dikonversi menjadi nilai diskrit

dengan cara ADC (*Analog to Digital Converter*) apabila dibalik dari tegangan digital ke tegangan analog maka harus menggunakan teknik yang disebut DAC (*Digital to Analog Converter*). Pada hal ini sensor tegangan merupakan dua buah resistor dengan resistansi berbeda dengan menggunakan prinsip pembagi tegangan.



Gambar 2.15 Resistor pembagi tegangan
(<http://www.hobbytronics.co.uk/>)

Dari gambar di atas persamaan dalam sensor tegangan adalah :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \quad (2.1)$$

Karena tegangan yang terbaca ke mikroprosesor harus kurang dari 5V dan tidak boleh melebihi 5V maka V_{out} harus dibawah 5V dengan pengaturan nilai resistansi R_1 dan R_2 harus diatur tidak boleh melebihi 5V sebagai pembagi tegangan.

2.8 Baterai atau ACCU

Baterai merupakan alat untuk menyimpan energi elektrokimia. Energi kimia yang terkandung di dalam baterai dapat diubah menjadi energi listrik searah (DC). Dalam baterai isi ulang, proses dapat dibalik yaitu mengubah energi listrik searah (DC) menjadi energi kimia yang tersimpan. (Geist & May-ostendorp, 2006)



Gambar 2.16 Baterai atau Accu

(source : www.google.com)

2.8.1 Charging

Waktu pengisian baterai aki/ *sealed lead acid* adalah 12 sampai 16 jam. Dengan arus pengisian yang lebih tinggi dan metode pengisian *multi-stage*, waktu pengisian dapat berkurang sampai dengan 10 jam atau kurang. Pengisian *multi-stage*, terdiri dari 3 tahap yaitu *constant-current charge*, *topping charge* dan *float charge*. Selama *constant-current charge* baterai diisi sampai 70 persen dalam waktu 5 jam dan sisanya 30 persen adalah pengisian pelan-pelan dalam *topping charge*. *Topping charge* butuh sekitar 5 menit jam yang lain dan ini sangat penting untuk menjaga baterai tetap baik. Jika pola pengisian baterai tidak lengkap sesuai dengan kedua *stage* diatas, maka baterai akan kehilangan kemampuan untuk menerima *full charge* dan kinerja baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, kompensasi *self-discharge* setelah baterai terisi penuh. (Tri & Putra, n.d.)

2.8.2 Discharging

Kapasitas baterai sebesar 7,2 *Ampere hour*, artinya arus baterai akan habis dalam satu jam, bila beban menggunakan 7,2 *Ampere*. *Level discharge* baterai aki yang direkomendasikan adalah sampai dengan tegangan 1.75 Volt per sel. Baterai aki akan rusak apabila tegangan per sel lebih kecil dari 1.75 Volt (atau 10.5 Volt untuk baterai 12 Volt).(Tri & Putra, n.d.)

Masa baterai dihitung dalam jumlah *cycle*. Satu *cycle* adalah satu kali penggunaan dan pengisian. *Depth of discharge* (jumlah pemakaian ampere baterai), mempengaruhi jumlah *cycle* baterai aki.

150 - 200 *cycle* dengan 100 persen *depth of discharge* (*full discharge*).

400 - 500 *cycle* dengan 50 persen *depth of discharge* (*partial discharge*).

600 – 1000 dengan 30 persen *depth of discharge* (*shallow discharge*).

2.9 IDE Arduino

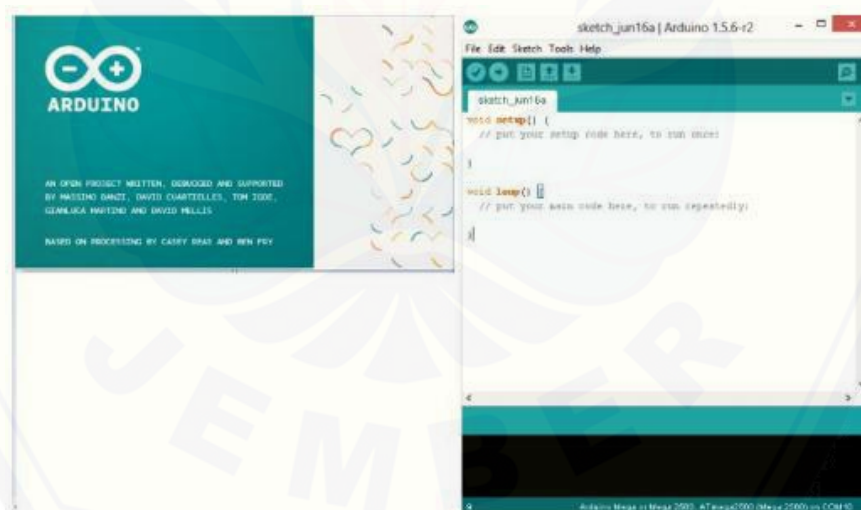
Software Arduino yang akan digunakan merupakan IDE dan driver. IDE diciptakan untuk para pemula bahkan yang tidak memiliki *basic* bahasa pemrograman karena menggunakan bahasa C++ yang telah dipermudah melalui

library. *Software* canggih yang ditulis dengan menggunakan bahasa Java disebut IDE Arduino . (Eka Wardani, 2005)

Software IDE Arduino terdiri dari tiga bagian yaitu:

- Editor program yang berfungsi sebagai mengedit dan menulis program dalam bahasa *processing*. *Sketch* adalah *Listing program* pada Arduino .
- Compiler* merupakan modul yang berfungsi sebagai pengubah bahasa *processing* (kode program) menjadi kode biner yang bertujuan agar dapat dipahami oleh mikrokontroler.
- Uploader* merupakan modul yang berfungsi menginputkan kode biner ke dalam memori mikrokontroler.

Struktur intruksi pada Arduino secara garis besar terdiri dari dua bagian yaitu *void loop* dan *void setup*. *Void setup* berisi perintah yang akan dieksekusi hanya satu kali sejak Arduino dinyalakan sedangkan untuk *void loop* berisi tentang perintah yang akan dieksekusi berkali-kali selama Arduino dalam keadaan nyala.



Gambar 2.17 Tampilan IDE Arduino

2.10 Fuzzy Logic

2.10.1 Pengertian *Fuzzy Logic*

Fuzzy logic dalam bahasa Inggris memiliki arti kabur atau tidak jelas. Logika yang mengandung unsur ketidakpastian merupakan *Fuzzy logic*. Pada

logika biasa, yaitu logika tegas, kita hanya mengenal dua nilai, salah atau benar, 0 atau 1. Sedangkan *fuzzy logic* mengenal nilai antara benar dan salah. Fuzzy logic memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistik, konsep ini tidak pasti seperti “sedikit”, “lumayan” dan “sangat”. Kebenaran dalam *fuzzy logic* dapat dinyatakan dalam derajat kebenaran yang nilainya antara 0 sampai 1.

Pada tahun 1965 logika fuzzy diperkenalkan pertama kali oleh Prof Lutfi A. Zadeh seorang peneliti dari Universitas California di Berkeley dalam bidang ilmu komputer. Professor Zadeh beranggapan logika benar salah tidak dapat mewakili setiap pemikiran manusia, kemudian dikembangkanlah logika fuzzy yang dapat mempresentasikan setiap keadaan atau mewakili pemikiran manusia. Perbedaan antara logika tegas dan logika fuzzy terletak pada keanggotaan elemen dalam suatu himpunan. Jika dalam logika tegas suatu elemen mempunyai dua pilihan yaitu terdapat dalam himpunan atau bernilai 1 yang berarti benar dan tidak pada himpunan atau bernilai 0 yang berarti salah. Sedangkan dalam logika fuzzy, keanggotaan elemen berada di interval $[0,1]$.

Berikut ini merupakan kelebihan dari Logika fuzzy yang menjadi alternatif dari berbagai sistem yang ada dalam pengambilan keputusan :

- a. Konsep yang dimiliki logika fuzzy yang sangat sederhana sehingga mudah dipahami.
- b. Logika fuzzy mampu beradaptasi dengan ketidakpastian dan perubahan (fleksibel)
- c. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat.
- d. Logika fuzzy mampu mensistemkan fungsi-fungsi non-linier yang sangat kompleks.
- e. Logika fuzzy dapat mengaplikasikan pengalaman atau pengetahuan dari para pakar.
- f. Logika fuzzy dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- g. Dasar dari logika fuzzy merupakan bahasa sehari-hari yang sangat mudah dimengerti.

Berikut ini merupakan komponen dari logika fuzzy harus dipahami :

1. Himpunan Tegas

Suatu kumpulan dari beberapa obyek yang dideskripsikan secara jelas merupakan pengertian dari himpunan tegas. Artinya beberapa obyek yaitu dapat ditentukan dengan jelas posisinya. Anggota himpunan yaitu obyek yang ada dalam himpunan. Biasanya himpunan dapat disimbolkan dengan alfabet kecil. Dengan notasi " $a \in A$ " dibaca a merupakan anggota dari himpunan A dan notasi " $a \notin A$ " a bukan anggota himpunan A . Suatu elemen himpunan tegas A (missal) hanya mempunyai dua kemungkinan, yaitu termasuk dan tidak termasuk pada himpunan A . Dua kemungkinan tersebut direpresentasikan pada bilangan biner 0 dan 1. Jika $a \in A$ maka elemen tersebut bernilai 1. Jika $a \notin A$ maka elemen tersebut bernilai 0. Nilai atau derajat keanggotaan suatu himpunan tegas dinotasikan dengan $\mu(x)$. Jika x termasuk dalam himpunan A maka $\mu(x) = 1$, dan jika sebaliknya maka $\mu(x) = 0$. (Kusumadewi, 2002)

Contoh 2.1.

Jika $S = \{Celsius, Reamur, Fahrenheit, Kelvin\}$ maka dapat dikatakan bahwa: $\mu(Reamur) = 1$ karena $Reamur \in S$, $\mu(Kelvin) = 1$ karena $Kelvin \in S$, dan $\mu(Suhu) = 0$ karena $Suhu \notin S$.

2. Himpunan fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan perkembangan dari himpunan tegas. Himpunan tegas adalah himpunan yang nilai keanggotaan dari elemennya hanya mempunyai dua kemungkinan derajat keanggotaan yaitu :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1; & \text{jika } x \in A \\ 0; & \text{jika } x \notin A \end{cases}$$

dengan μ_A adalah fungsi karakteristik dari himpunan A . Sedangkan pada himpunan *fuzzy* derajat keanggotaan untuk setiap elemennya terletak dalam interval $[0,1]$.

Definisi 2.1 (Li-Xin Wang, 1997)

Suatu himpunan *fuzzy* pada himpunan semesta U dapat dinyatakan dengan nilai fungsi keanggotaan pada interval $[0,1]$. Suatu himpunan *fuzzy* A

pada himpunan semesta U dapat dinyatakan dengan himpunan pasangan terurut elemen x dan nilai keanggotaannya (Wang, 1997: 22). Secara matematis pernyataan tersebut dapat ditulis dengan:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\}$$

Definisi 2.2 (J.Klir, 1996)

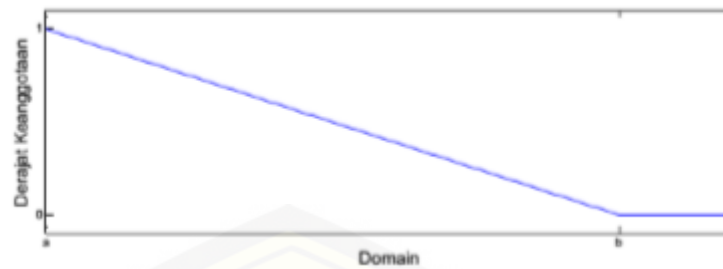
Misalkan A adalah himpunan tak kosong. Himpunan fuzzy A di himpunan universal U didefinisikan dengan fungsi keanggotaan dan menyatakan derajat keanggotaan dari elemen x pada himpunan fuzzy A untuk setiap $x \in U$. Apabila suatu elemen x dalam suatu himpunan A memiliki derajat keanggotaan fuzzy 0 atau dapat ditulis artinya $\mu_A(x) = 0$ bukan anggota himpunan A , dan jika memiliki derajat keanggotaan fuzzy 1 atau $\mu_A(x) = 1$ artinya merupakan anggota penuh dari himpunan A .

3. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan merupakan fungsi yang memetakan elemen suatu himpunan ke nilai keanggotaan pada interval $[0,1]$. Fungsi keanggotaan yang membedakan himpunan fuzzy dengan himpunan tegas. Fungsi keanggotaan dapat direpresentasikan dengan berbagai cara, namun yang paling umum dan banyak dipakai dalam sistem yang dibuat berdasarkan logika fuzzy adalah representasi secara analitik. Pemodelan yang tepat dibutuhkan karena model fuzzy sensitive terhadap jenis pendeskripsian himpunan fuzzy. Terdapat berbagai jenis pendeskripsian himpunan fuzzy, namun fungsi keanggotaan yang digunakan pada penelitian penulis yaitu representasi linier, segitiga dan trapesium.

a. Representasi kurva linier

Representasi paling sederhana dalam fungsi keanggotaan yaitu representasi linier yang digambarkan sebagai suatu garis lurus. Keadaan himpunan fuzzy linier ada dua. Pertama, himpunan mengalami penurunan dari derajat keanggotaan satu bergerak ke kanan menuju derajat keanggotaan yang lebih rendah menuju nol.



Gambar 2.18 Representasi kurva linier turun

Fungsi keanggotaan linier turun:

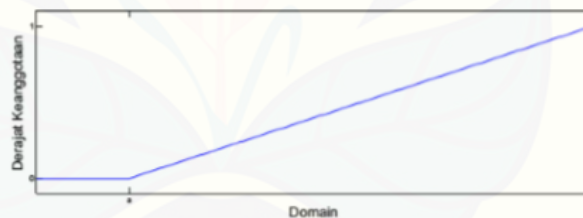
$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

Kedua, himpunan mengalami kenaikan dari derajat keanggotaan nol bergerak ke kanan menuju derajat keanggotaan yang lebih tinggi menuju satu. Hal tersebut tampak pada Gambar 2.21.



Gambar 2.19 Representasi kurva linier naik

Fungsi keanggotaan linier turun:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x = b \end{cases}$$

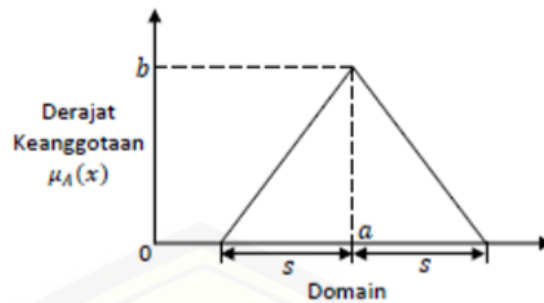
Keterangan :

a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

b. Representasi kurva segitiga

Representasi kurva segitiga merupakan gabungan dari representasi linier (J.Klir, 1996)



Gambar 2.20 Representasi kurva segitiga

Fungsi keanggotaan dari representasi segitiga, adalah :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \end{cases}$$

Keterangan :

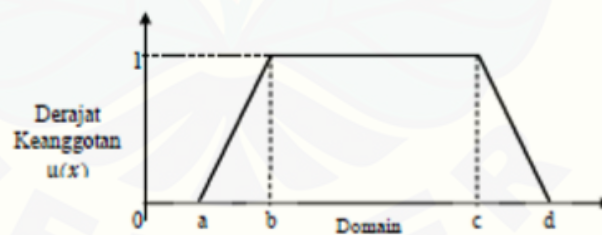
a = nilai domain terkecil saat derajat keanggotaan terkecil

b = derajat keanggotaan terbesar dalam domain

c = nilai domain terbesar saat derajat keanggotaan terkecil

c. Representasi kurva trapezium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



Gambar 2.21 Representasi kurva trapezium

Fungsi keanggotaan untuk representasi kurva trapesium, adalah:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \end{cases}$$

4. Operasi Pada Himpunan Fuzzy

Operasi dasar pada himpunan fuzzy ada tiga, yaitu: komplemen, gabungan, dan irisan. Berikut definisi dari ketiga operasi tersebut:

a. Operasi dasar komplemen (J.Klir, 1996)

Diberikan himpunan *fuzzy*A pada himpunan semesta *U*, komplemen dari himpunan *fuzzy*A adalah \bar{A} atau A^c didefinisikan sebagai

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in U \dots \dots \dots (2.58)$$

Contoh 2.1.

Misalkan $\mu_A(x) = 0,24$

maka $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) = 1 - 0,24 = 0,76$.

b. Operasi dasar gabungan (J.Klir, 1996)

Diberikan himpunan semesta *U* dan dua himpunan *fuzzy*A dan *B* pada *U*.

Operasi dasar gabungan *A* dan *B* ditulis $A \cup B$ didefinisikan dengan

$$\mu_{(A \cup B)}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)], \forall x \in U \dots \dots \dots (2.59)$$

Contoh 2.2

Misalkan $\mu_A(x) = 0,24$ dan $\mu_B(x) = 0,5$

maka $\mu_{(A \cup B)}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \max[0,24 \ 0,5] = 0,5$

c. Operasi dasar irisan (J.Klir, 1996)

Diberikan dua himpunan *fuzzy*A dan *B* pada himpunan semesta *U*.

Operasi dasar irisan *A* dan *B* ditulis $A \cap B$ didefinisikan dengan persamaan

$$\mu_{(A \cap B)}(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)], \forall x \in U \dots \dots \dots (2.60)$$

Contoh 6.3

Misalkan $\mu_A(x) = 0,24$ dan $\mu_B(x) = 0,5$

maka $\mu_{(A \cap)}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \min[0,24 \ 0,5] = 0,24$

Operator dasar gabungan bisa disimbolkan dengan atau ditulis dengan “OR” sedangkan operator dasar irisan bisa disimbolkan dengan atau ditulis dengan “AND”.

2.10.2 Sistem Fuzzy

Sistem fuzzy merupakan sistem berdasarkan aturan himpunan fuzzy.

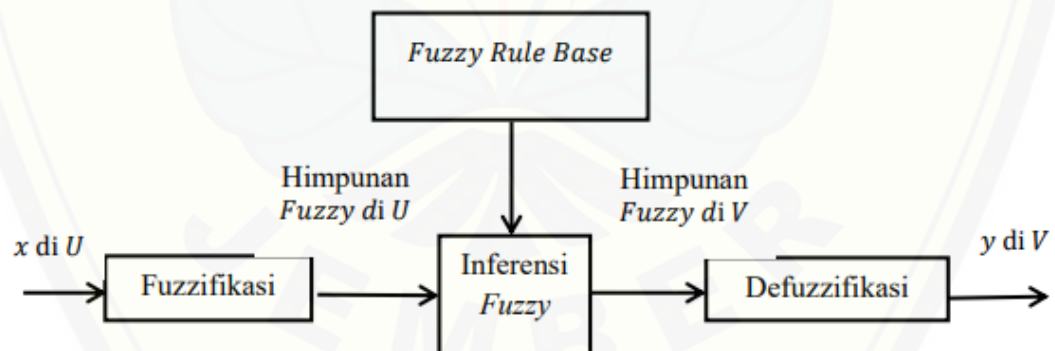
Beberapa keistimewaan sistem fuzzy (Li-Xin Wang, 1997) yaitu:

1. Sistem fuzzy cocok digunakan pada sistem pemodelan karena variabelnya bernilai real.
2. Sistem fuzzy menyediakan kerangka yang digunakan untuk menggabungkan aturan-aturan fuzzy jika-maka yang bersumber dari pengalaman manusia.
3. Terdapat berbagai pilihan dalam menentukan fuzzifier dan defuzzifier sehingga dapat diperoleh sistem fuzzy yang paling sesuai dengan model.

Elemen dasar dalam sistem fuzzy (Li-Xin Wang, 1997):

1. Basis kaidah (rule base), berisi aturan-aturan secara linguistik yang bersumber dari para pakar.
2. Mekanisme pengambil keputusan (*inference engine*), merupakan bagaimana para pakar mengambil suatu keputusan dengan menerapkan pengetahuan (knowledge).
3. Proses fuzzifikasi (fuzzification), yaitu mengubah nilai dari himpunan tegas ke nilai fuzzy.
4. Proses defuzzifikasi (defuzzification), yaitu mengubah nilai fuzzy hasil inferensi menjadi nilai tegas.

Susunan pada sistem fuzzy ditunjukkan pada Gambar 2.24



Gambar 2.24 Susunan Sistem Fuzzy(Li-Xin Wang, 1997)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Tempat penelitian, analisis, perancangan, pembuatan dan pengujian dilakukan pada :

Tempat : Laboratorium Renewable Energy, Center for Development of Advance Science and Technology (CDAST), Universitas Jember
 Alamat : Jl. Kalimantan No. 37 Krajan Timur, Sumpersari Jember 68121

3.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dimulai pada November 2019 – selesai, dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		I				II				III				IV			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																
2	Perancangan Alat																
3	Penelitian dan pengujian																
4	Analisis Data																
5	Kesimpulan																

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Alur Penelitian

Pada proses penelitian tugas akhir ini ada beberapa tahapan yang akan dilakukan, berikut adalah langkah-langkah dalam penelitian ini yaitu :

a. Studi literatur

Pada tahap ini merupakan tahapan untuk mencari sumber informasi terkait dengan penelitian yang dilakukan, dengan informasi yang didapat dari berbagai sumber untuk menjadi acuan mencapai hasil penelitian ini.

b. Perancangan perangkat keras

Perancangan perangkat keras yang dilakukan adalah membuat desain sistem alat sesuai dengan studi literatur yang didapatkan. Dalam perancangan perangkat keras dalam penelitian ini ada yaitu *Cuk converter*.

c. Perancangan perangkat lunak

Perancangan perangkat lunak yang dilakukan adalah simulasi pada *software simulator* untuk menjalankan cara kerja sistem.

d. Implementasi keseluruhan sistem

Setelah perancangan perangkat keras dan perangkat lunak tahap selanjutnya adalah menggabungkan keseluruhan sistem. Langkah selanjutnya adalah dilakukan pengujian sistem.

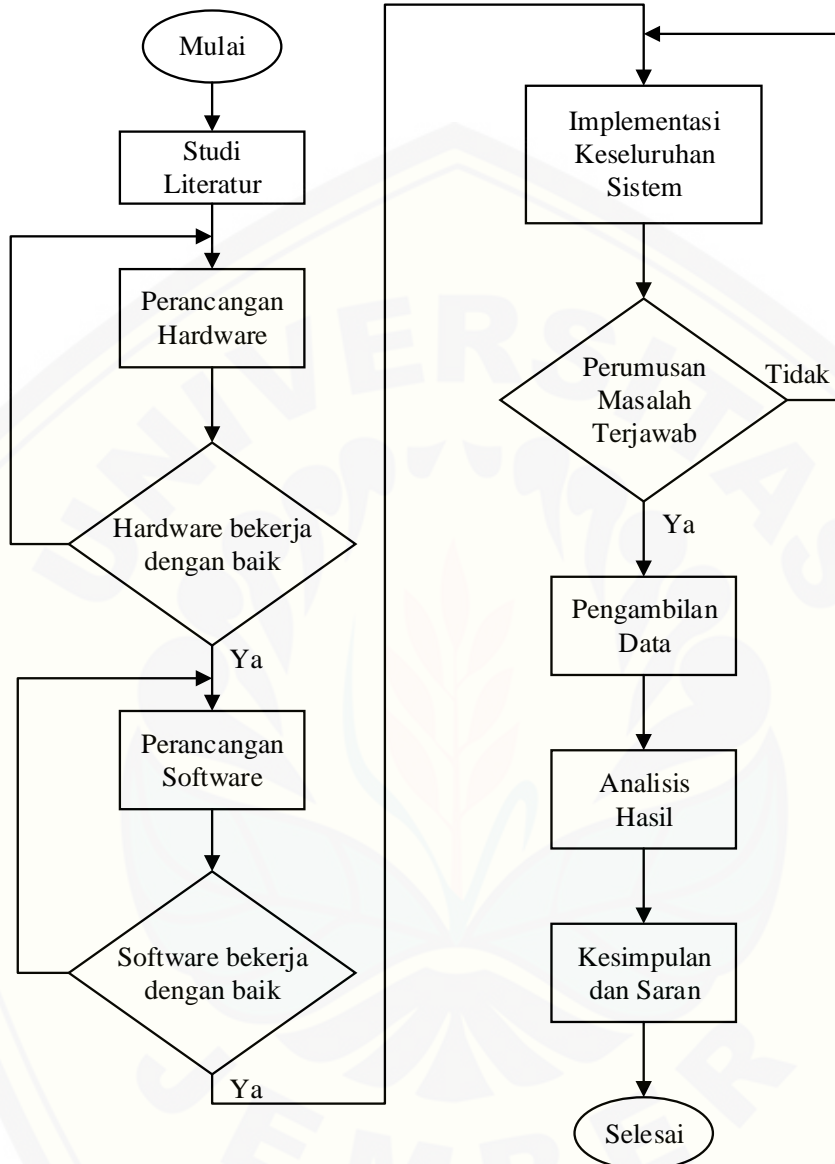
e. Pengambilan data

Pada tahap selanjutnya setelah semua sistem siap untuk diuji dilakukan pengambilan data dengan pengujian yang berbeda-beda untuk mendapatkan data.

f. Analisa data

Setelah tahap pengujian dan pengambilan data dilakukan dan didapatkan data, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis terhadap data yang didapat.

3.3.2 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alur Penelitian

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang dipersiapkan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.4.1 Alat

- Panel Surya Sun Asia 100WP *Polycrystalline cell*.
- Arduino UNO

- c. Baterai atau ACCU
- d. Tang buaya
- e. Tang potong
- f. Bor
- g. Obeng
- h. Grenda potong
- i. Solder
- j. Penyedot timah
- k. AVO meter
- l. Lux meter

3.4.2 Bahan

- a. Resistor
- b. Induktor
- c. Kapasitor
- d. Toroid
- e. Sensor arus
- f. Mosfet
- g. Timah
- h. Kabel

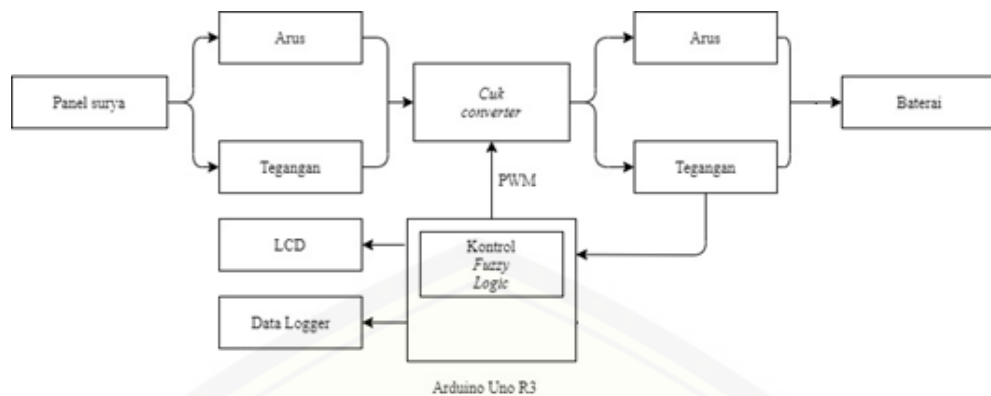
3.4.3 Software yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Arduino IDE

3.5 Rancangan Alat

3.5.1 Diagram Blok Sistem Pengujian

Untuk memudahkan pemahaman bagaimana sistem penelitian ini bekerja, maka diperlukan sebuah diagram blok sistem pengujian. Pada gambar 3.2 dibawah ini terdiri dari panel surya, *Cuk conveter*, sensor arus, sensor tegangan, *microkontroller* Arduino Uno R3 yang telah diprogram algoritma *fuzzy logic* serta laptop sebagai monitoring data.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Pada dasarnya prinsip kerja dari *control Cuk converter* untuk solar charger berbasis *fuzzy logic* dapat dilihat pada gambar 3.2 yang merupakan diagram sistem kinerja solar charger berbasis *fuzzy logic*, dimana beban yang digunakan adalah resistor kapur. Panel surya yang digunakan sebagai sumber *energy* dalam penelitian ini yaitu panel surya 400 WP berjenis polycrystalline yang menghasilkan tegangan keluaran sebesar 76 V – 85 V. Tegangan keluaran dari panel surya yang akan diterima oleh *Cuk converter* untuk menurunkan nilai tegangan menjadi 28 V dengan mengubah dari nilai *duty cycle*. *Duty cycle* diatur oleh sebuah kontrol yang berupa Arduino Uno R3 melalui nilai PWM. Setelah dari *Cuk converter* proses selanjutnya yaitu pembacaan yang dilakukan oleh sebuah sensor arus ACS712 dan sensor tegangan. Sensor-sensor tersebut berfungsi sebagai *feedback* untuk *control* agar didapatkan hasil yang diharapkan. Dari pembacaan sensor tersebut maka proses selanjutnya yaitu proses *control* yang dilakukan oleh sebuah mikrokontroler yaitu Arduino Uno R3, didalam Arduino Uno R3 ini hasil pembacaan sensor tegangan dan arus akan diproses oleh Arduino Uno R3 yang akan mengontrol nilai PWM yang akan diberikan kembali ke *Cuk converter*. Untuk mendapatkan nilai PWM yang digunakan maka ditambahkan sebuah logika yaitu logika *fuzzy*, dimana *fuzzy* akan mengatur besar kecilnya nilai PWM yang akan dikirim ke sebuah *Cuk converter* agar nilai *output* dari sebuah *Cuk converter* sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan untuk proses *charging* baterai. Jadi tujuan pemasangan sensor tegangan yaitu untuk mengetahui nilai tegangan *output* dari

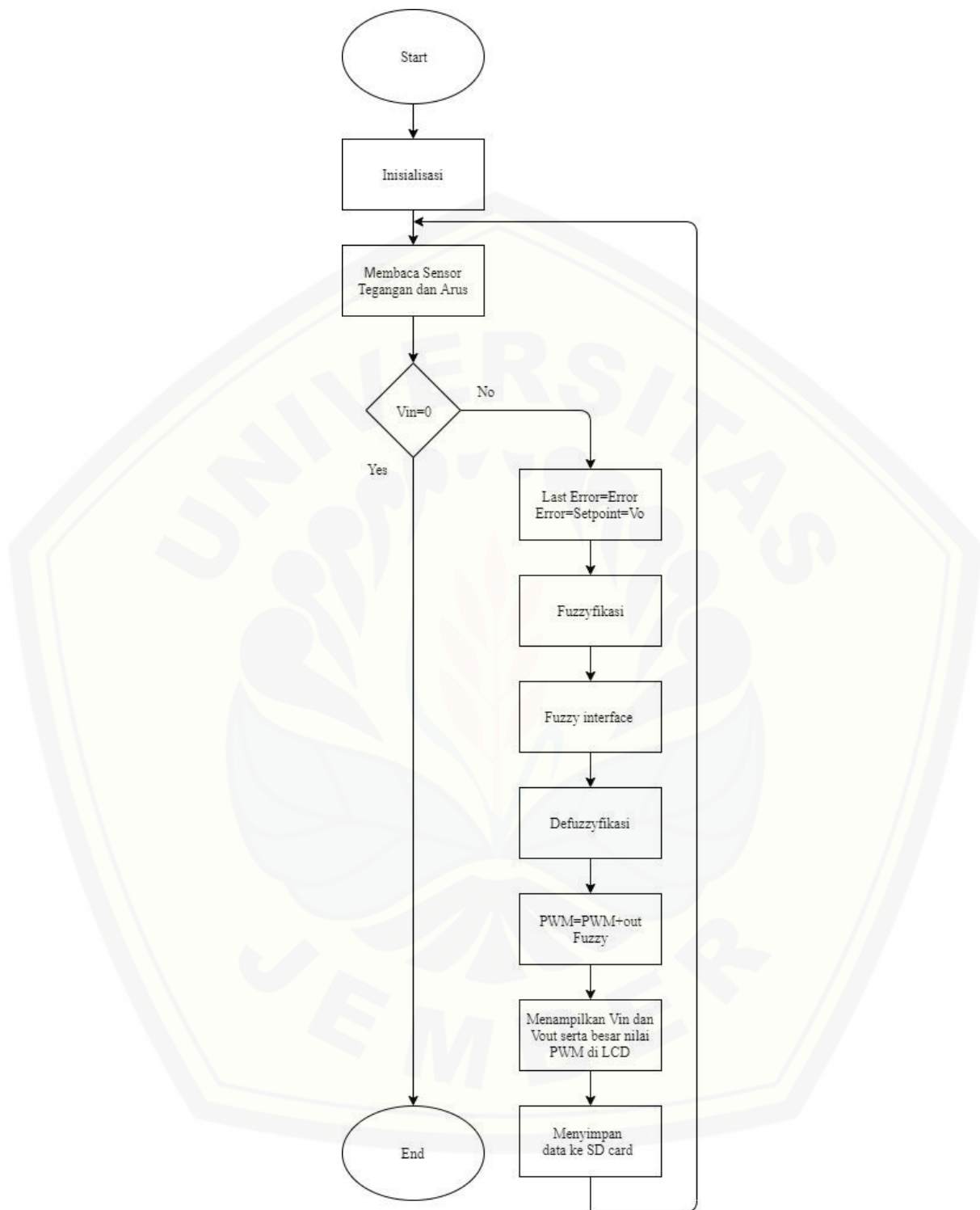
panel surya dan juga berfungsi sebagai *feedback* untuk proses *control* agar nilai tegangan dapat dipertahankan sesuai *setpoint* yang ditentukan.

Di dalam Arduino Uno R3 ini terdapat *fuzzy* sebagai kontrol. Tegangan masukan pada kontrol *fuzzy* yaitu 28 Volt. Jika tegangan >28 Volt atau < 28 Volt maka sensor akan mendeteksi sehingga mengirimkan *feedback* ke sistem kontrol *fuzzy* dan diolah dengan menentukan nilai menggunakan metode *Fuzzy logic* sehingga memperbaiki sinyal PWM, Apabila tegangan keluaran yang telah di kontrol oleh fuzzy bernilai >28 atau <28 volt maka akan diperbaiki menggunakan kontrol *fuzzy* sehingga memperbaiki sinyal PWM, *Cuk converter* akan bekerja sesuai dengan sinyal kontroler PWM yang diterima sehingga dapat mengatur *switching* dan akan menghasilkan tegangan keluaran stabil yaitu 28 volt.

Di dalam Arduino Uno R3 ini terdapat kontrol *fuzzy* yang akan merespon apabila terjadi drop tegangan sehingga mempertahankan *output* tegangan berada pada *set point*. Sensor tegangan dan sensor arus dipasang bertujuan untuk mengetahui tegangan *output* dari panel surya dan tegangan *output Cuk converter* serta juga digunakan sebagai *input* dari Arduino Uno R3 yang berupa ADC.

3.5.2 Flowchart

Flowchart atau diagram alir adalah jenis diagram yang mewakili algoritma dan sistem kerja dalam bentuk bagan yang disusun secara berurutan dan sistematis. Berikut flowchart *Cuk converter* dengan kontrol logika *fuzzy*.



Gambar 3.3 Flowchart

3.6 Perancangan Perangkat Keras

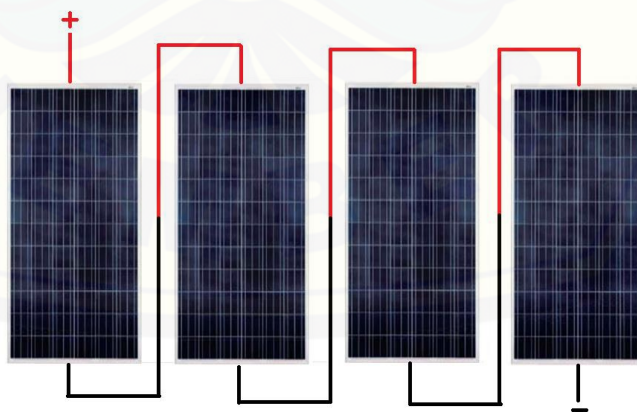
3.6.1 Perancangan Panel Surya

Panel Surya yang digunakan yaitu jenis *Polycrystalline* dengan daya sebesar 400 WP (*Watt Peak*), panel surya jenis *Polycrystalline* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* yang menghasilkan daya listrik yang sama.

Tabel 3.2 Data Spesifikasi Panel Surya

No	Spesifikasi	Parameter
1.	Model Type	SP100-18P
2.	Peak Power (Pmax)	400W
3.	Cell Efficiency	16,93%
4.	Maximum power volt (Vmp)	17.8V
5.	Maximum power current (Imp)	5.62A
6.	Open Circuit Voltage (Voc)	87,2V
7.	Short Circuit Current (Isc)	6.05A
8.	Power Tolerance	±3%
9.	Maximum system voltage	1000V DC
10.	Operating temperature	-4°C to +85°C
11.	Test Condition	1000/m ² , 25°C

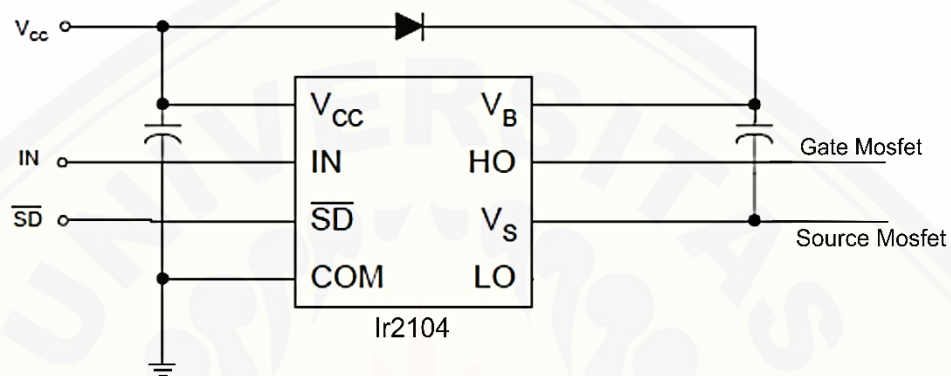
Gambar 3.4 merupakan rangkaian dari 4 modul *solar cell* yang dirangkai secara seri agar keluaran dari *solar cell* sesuai dengan tegangan masukan pada perhitungan *Cuk converter*.



Gambar 3.4 Rangkaian Modul *Solar Cell*

3.6.2 Perancangan *Driver* MOSFET

Pada perancangan *driver* MOSFET ini digunakan untuk memisah antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya, karena rangkaian kontrol sensitive terhadap arus yang besar. Rangkaian *driver* MOSFET ini juga berfungsi untuk menguatkan sinyal kecil yang berasal dari mikroprosesor. (Anam, 2020)



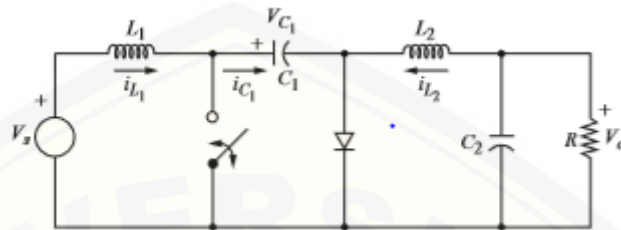
Gambar 3.5 Rangkaian *Driver* Mosfet

Rangkaian drimer mosfet ini menggunakan ic IR2104, dimana pin PWM dari mikroprosesor masuk pada pin IN kemudian pin HO akan mengeluarkan sinyal hasil dari penguatan PWM dari pin IN. Pin SD merupakan saklar dari ic tersebut, ic akan aktif ketika pin IN akan mendapat sinyal *high* dari mikroprosesor. Keunggulan dari menggunakan ic IR2104 ini adalah dapat menerima feedback dari kaki source mosfet. Sehingga ic akan merubah sinyal dari HO sesuai dengan yang dibutuhkan untuk menyuplai kaki *gate* mosfet.

3.6.3 Perancangan *Cuk converter*

Cuk conveter terdiri dari induktor, kapasitor, resistor, diode dan mosfet. *Cuk conveter* berkerja berdasarkan sinyal pensaklaran, t_{on} dan t_{off} . *Duty cycle* adalah perbandingan waktu menyala (t_{on}) terhadap jumlah waktu keduanya. Saat saklar menyala (*on*), *energy* disimpan induktor dan saat saklar mati (*off*), *energy* disimpan pada kapasitor pentransfer tegangan kemudian diubah lagi menjadi listrik.

Pada penelitian kali ini diperlukan sebuah konverter berjenis *Cuk converter* dimana konverter ini berfungsi untuk mengatur nilai tegangan *output* yang dihasilkan oleh panel surya. Pada gambar 3.6 merupakan skematik dari rangkaian *Cuk converter*



Gambar 3.6 Skematik Rangkaian *Cuk converter*

Rangkaian *Cuk converter* disusun dari komponen yang umum digunakan diantaranya yaitu induktor, mosfet, kapasitor, diode serta resistor. Untuk merancang *Cuk converter* diperlukan beberapa parameter yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dengan tujuan agar lebih mudah untuk menentukan nilai dari induktor, kapasitor serta beban. Perancangan parameter ini juga dikondisikan dengan alat dan komponen yang ada di laboratorium dan di pasaran agar mempermudah dalam perancangannya. Desain parameter awal rangkaian dapat dilihat pada tabel 3.3. Spesifikasi parameter disesuaikan dengan spesifikasi panel surya 400 Wp dan tipe baterai yang digunakan adalah 24 volt dan *capacity* 3.5Ah. Berikut ini merupakan tabel parameter untuk desain awal pada rangkaian *Cuk converter* serta spesifikasi dc/dc *Cuk converter* untuk solar charger yang akan dibuat :

Tabel 3.3 Desain Awal Rangkaian *Cuk Converter*

No	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tegangan Sumber (V_s)	80	Volt
2.	Tegangan Output (V_o)	28	Volt
3.	Daya Output (P)	400	Watt
4.	Frekuensi Switching (f_s)	62,5	KHz
5.	Ripple Arus Input (λ_1)	10	%
6.	Ripple Arus Output (λ_2)	11	%
7.	Ripple Tegangan	1	%

Pada perancangan *Cuk converter* besarnya nilai induktor *input* (L_1) dan induktor *output* (L_2) dibedakan agar faktor *ripple* yang digunakan untuk membuat

induktor juga berbeda dapat dibuktikan pada tabel 3.3 bahwa besarnya nilai faktor *ripple* arus *input* dan *ripple* arus *output* dibuat berbeda 1%. Panel surya yang digunakan pada penelitian ini menghasilkan tegangan *output* sebesar 80 Volt dan daya sebesar 400 Watt maka parameter untuk tegangan *input* dari *Cuk converter* ditentukan 80 Volt. Dikarenakan baterai yang digunakan untuk charging berkapasitas 24 Volt maka *set point* tegangan *output* pada *Cuk converter* ditentukan sebesar 28 Volt. Dengan menggunakan nilai tegangan *input* dan nilai tegangan *output* yang sudah ditentukan maka dapat dilakukan perhitungan nilai *duty cycle* pada rangkaian *Cuk converter* dengan cara persamaan rasio konversi 2.29 pada bab 2 yaitu :

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

Rangkaian *Cuk converter* memiliki polaritas terbalik dapat dilihat dari tanda negatif pada persamaan diatas. Sehingga membuat hasil tegangan *output* yang dihasilkan *Cuk converter* bernilai negatif, akan tetapi pada perhitungan kali ini nilai negatif dari keluaran *Cuk converter* dapat diabaikan. Berikut ini merupakan hasil perhitungan *duty cycle* dengan mensubstitusi nilai tegangan *input* dan tegangan *output* ke dalam persamaan rasio konversi 2.29 :

$$\frac{28}{-80} = \frac{D}{1-D}$$

$$28 + 28D = -80D$$

$$-108D = 28$$

$$D = 0,26$$

Desain rangkaian *Cuk converter* menggunakan nilai *duty cycle* sebesar 26% dengan frekuensi switching sebesar 62.5 kHz. Untuk menghasilkan gelombang persegi(on/off) pada Arduino maka diperlukan parameter frekuensi switching dan *duty cycle* pada *Cuk converter*.

Parameter selanjutnya yang harus di tentukan yaitu nilai tahanan dalam (R) pada rangkaian *Cuk converter*. Perhitungan beban (R) dilakukan berdasarkan daya *output* yang dihasilkan oleh panel surya dan tegangan *output* yang dihasilkan oleh panel surya, berikut persamaan perhitungan beban pada rangkaian *Cuk converter* :

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

P = daya *output* panel surya (Watt)

R = beban (Ohm)

V_o = tegangan *output* panel surya (Volt)

Berikut ini merupakan persamaan untuk menentukan nilai beban (R) yang digunakan pada rangkaian *Cuk converter* dengan cara memindah ruaskan nilai daya (P) dan beban (R) :

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

Dengan menggunakan persamaan diatas dan mensubstitusikan nilai daya *output* (P) dan tegangan *output* (V_o) ,maka didapatkan hasil perhitungan nilai (R) berikut ini :

$$R = \frac{28^2}{400}$$

$$R = \frac{784}{400}$$

$$R = 1,96 \text{ Ohm}$$

Pada desain rangkaian *Cuk converter* ada dua buah induktor yang digunakan yaitu pada bagian *input* (L_1) dan pada bagian *output* (L_2). Untuk menentukan nilai dari kedua induktor tersebut menggunakan persamaan yang sudah dibahas pada bab 2. Berikut ini merupakan persamaan 2.37 untuk menghitung induktor bagian *input* (L_1) ::

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

V_s = tegangan sumber (Volt)

V_o = tegangan *output* (Volt)

λ = faktor *ripple* arus *input*

P = daya (Watt)

f_s = frekuensi *switching* (Hz)

Pada desain induktor L_1 menggunakan faktor *ripple* pada bagian arus *input* sebesar 10%. Untuk mendapatkan nilai L_1 dilakukan dengan cara menyubstitusi parameter pada tabel 3.6. Berikut hasil dari perhitungannya:

$$L_1 = \frac{80^2 \cdot 28}{0,1 \cdot 400 \cdot 62500 \cdot (28+80)}$$

$$L_1 = \frac{179200}{270000000}$$

$$L_1 = 0,0006637 \text{ H}$$

$$L_1 = 664 \mu\text{H}$$

Berikut ini merupakan persamaan 2.48 yang digunakan untuk menentukan nilai induktor sisi *output* (L_2) :

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

Pada desain rangkaian *Cuk converter* untuk induktor bagian *output* (L_2) menggunakan nilai faktor *ripple* arus pada bagian *output* yang bernilai 11%. Untuk mendapatkan nilai L_2 dilakukan dengan cara menyubstitusi parameter pada tabel 3.6. Berikut hasil dari perhitungannya :

$$L_2 = \frac{80 \cdot 28^2}{0,11 \cdot 400 \cdot 62500 \cdot (28+80)}$$

$$L_2 = \frac{62720}{297000000}$$

$$L_2 = 0,000211 \text{ H}$$

$$L_2 = 211 \mu\text{H}$$

Tahap selanjutnya yaitu penentuan nilai kapasitor yang digunakan pada rangkaian *Cuk converter*. Ada dua buah kapasitor yang digunakan pada rangkaian *Cuk converter*, adalah kapasitor pentransfer tegangan (C_1) pada bagian *input* dan kapasitor filter (C_2) pada sisi *output*. Berikut ini merupakan persamaan 2.54 yang digunakan untuk menentukan nilai kapasitor pentransfer tegangan (C_1) :

$$C_1 = \frac{P}{\lambda \cdot f \cdot s \cdot (V_o + V_s)^2}$$

Pada persamaan diatas faktor ripple yang digunakan yaitu faktor *ripple* tegangan dengan nilai 1%. Untuk mendapatkan nilai kapasitor pentransfer tegangan (C_1) pada bagian *input* dapat dilakukan dengan cara menyubstitusi parameter pada tabel 3.6. Berikut hasil dari perhitungannya:

$$C_1 = \frac{400}{0,01 \cdot 62500 \cdot (28+80)^2}$$

$$C_1 = \frac{400}{7290000}$$

$$C_1 = 0,0000548 F$$

$$C_1 = 54,8 \mu F$$

Berikut ini merupakan persamaan 2.57 yang digunakan untuk menentukan nilai kapasitor filter (C_2) pada bagian *output* :

$$C_2 = i_2 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot f_s \cdot \lambda \cdot V_o}$$

Nilai i_2 adalah hasil dari pembagian antara daya *input* (P) dengan tegangan *output* (V_o), Nilai i_2 adalah nilai arus pada bagian *output*, maka persamaan di atas dapat dirubah sebagai berikut :

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

Untuk mendapatkan nilai kapasitor filter (C_2) pada bagian *output* dapat dilakukan dengan cara menyubstitusi parameter pada tabel 3.6 dengan menggunakan factor *ripple* tegangan sebesar 10%. Berikut hasil dari perhitungannya:

$$C_2 = \frac{400}{2.314.62500.0.1.28^2}$$

$$C_2 = \frac{400}{30772000}$$

$$C_2 = 0,0000129 F$$

$$C_2 = 12,9 \mu F$$

Tabel 3.4 Desain Parameter pada Rangkaian *Cuk Converter*

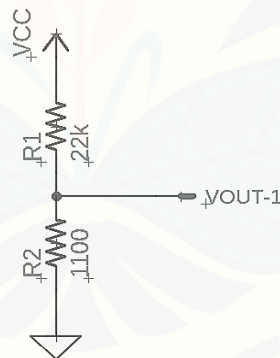
No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tegangan Sumber	80	Volt
2.	Tegangan <i>Output</i>	28	Volt
3.	Daya <i>Output</i>	400	Watt
4.	Frekuensi <i>Switcing</i>	62.5	KHz
5.	<i>Ripple Arus Input</i>	10	%
6.	<i>Ripple Arus Output</i>	11	%
7.	<i>Ripple Tegangan</i>	1	%
8.	Beban	1,96	Ω
9.	Induktor L_1	664	μH
10.	Induktor L_2	211	μH
11.	Kapasitor Pentransfer C_1	100	μF

12.	Kapasitor Filter C_2	22	μF
-----	------------------------	----	---------------

Pada parameter rangkaian *Cuk conveter* tidak menggunakan kapasitor yang sesuai dengan perhitungan dikarenakan keterbatasan nilai kapasitor yang ada dipasaran. Sehingga nilai kapasitor pentransfer yang awalnya pada perhitungan menggunakan kapasitor sebesar 54,8 μF diganti dengan kapasitor dengan nilai 100 μF dan untuk kapasitor filter yang awalnya pada perhitungan menggunakan kapasitor sebesar 12,9 μF diganti dengan kapasitor dengan nilai 22 μF .

3.6.4 Perancangan Sensor Tegangan

Perancangan sensor tegangan dilakukan dengan tujuan agar dapat memonitoring tegangan pada bagian *input Cuk converter* dan tegangan bagian *output* dari *Cuk converter*. Sistem kerja dari sensor tegangan ini menggunakan rumus pembagi tegangan dimana pada rumus pembagi tegangan terdapat dua buah resistor dengan resistnsi berbeda yang dirangkai seri. (Anam, 2020). Gambar perancangan sesor tegangan dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rangkaian Sensor Tegangan

Berikut ini merupakan hasil perhitungan dari perancangan sensor tegangan menggunakan rumus pembagi tegangan :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

Diketahui nilai dari $V_{out} = 5$ Volt

$V_{in} = 90$ Volt

$R_1 = 22\text{k } \Omega$

Maka perhitungannya sebagai berikut dengan mensubstitusi nilai diatas:

$$5 = \frac{90 \times R_2}{22k + R_2}$$

$$110k + 5R_2 = 90R_2$$

$$R_2 = \frac{110k}{89}$$

$$R_2 = 1235 \Omega$$

3.6.5 Perancangan Sensor Arus ACS712

Perancangan sensor arus dilakukan dengan tujuan agar lebih mudah untuk memonitoring arus *input* dan arus *output* pada *Cuk converter*. Jenis sensor arus yang digunakan yaitu tipe ACS 712 dengan maximum pembacaan arus sebesar 30 A. Spesifikasi arus dlebihkan karena agar tidak mudah terjadi kerusakan apabila terjadi *short circuit* pada rangkaian. (Anam, 2020)Spesifikasi sensor ACS712 dapat dilihat pada tabel 3.2 :

Tabel 3.2 Spesifikasi Sensor Arus ACS 712-30A

No.	Keterangan	Kapasitas
1.	Catu Daya	5 Volt
2.	Indikator Daya	LED in Borad
3.	Arus Maxsimal	30 Ampere DC atau AC
4.	Sensitivitas	100 mV/A
5	Dimensi	33mm x 14 mm

3.6.6 Spesifikasi Baterai

Pada penelitian ini, digunakan baterai dengan tipe Lead Acid /aki dengan besar tegangan 12V dengan kapasitas 3.5 Ah sebanyak 2 buah dengan dirangkai secara seri, sehingga tegangan baterai adalah 24V dengan kapasitas 3.5 Ah. Baterai akan digunakan sebagai beban yang memiliki resistansi yang berubah-ubah secara dinamis yang tergantung pada kapasitas baterai tersebut. Pada gambar 3.8 ditunjukkan bentuk fisik dari baterai yang akan digunakan untuk penelitian.



Gambar 3.8 Baterai Yuasa YTZ5S

Baterai yang digunakan untuk penelitian ini merupakan baterai dengan kapasitas 12V/3.5 Ah tipe YTZ5S buatan Yuasa. Spesifikasi lengkap dari baterai yang dipergunakan. Tabel 3.5 merupakan tabel spesifikasi baterai yang digunakan.

Tabel 3.6 Spesifikasi Baterai Yuasa YTZ5S

Spesifikasi		
Tegangan	12 V	
Kapasitas	3.5 Ah	
Laju pengisian	5 A	
Tegangan Pengisian Daya	13,5-13,8 V	
Ukuran	Panjang	115 mm
	Lebar	72 mm
	Tinggi	86 mm

Baterai umumnya terdiri dari anoda, katoda, dan elektrolit. Arus muatan tergantung pada teknologi dan kapasitas baterai yang sedang diisi. Baterai utama adalah baterai yang dapat mengubah bahan kimia menjadi listrik hanya sekali dan kemudian harus dibuang. Sedangkan baterai sekunder memiliki elektroda yang dapat direkonstitusi dengan melewati listrik kembali melalui disebut dengan baterai isi ulang.

Untuk menentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan saat melakukan pengisian baterai digunakan persamaan berikut. Diketahui arus keluaran dari *Cuk converter* = 5 A. Kapasitas baterai = 3.5 Ah

$$\begin{aligned}
 \text{MTFC (Tidak ada efisiensi yang hilang)} &= ((BC / CRC) * 10) / 10 \\
 &= ((3.5 / 5) * 10) / 10 \\
 &= 0,7 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{MTFC (Efisiensi hilang 10\%)} = ((BC / CRC) * 11) / 10$$

$$= ((3.5 / 5) \times 11) / 10$$

$$= 0,77 \text{ jam}$$

$$\text{MTFC (Efisiensi hilang 20\%)} = ((\text{BC} / \text{CRC}) * 12) / 10$$

$$= ((3.5 / 5) \times 12) / 10$$

$$= 0,84 \text{ jam}$$

$$\text{MTFC (Efisiensi hilang 30\%)} = ((\text{BC} / \text{CRC}) * 13) / 10$$

$$= ((3.5 / 5) \times 13) / 10$$

$$= 0,91 \text{ jam}$$

$$\text{MTFC (Efisiensi hilang 40\%)} = ((\text{BC} / \text{CRC}) * 14) / 10$$

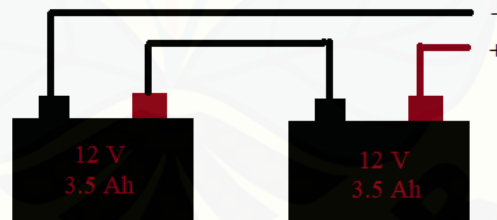
$$= ((3.5 / 10) \times 14) / 10$$

$$= 0,98 \text{ jam}$$

Keterangan:

- MTFC : Waktu maksimum pengisian baterai
- BC : Kapasitas baterai
- CRC : Charge Rate Current

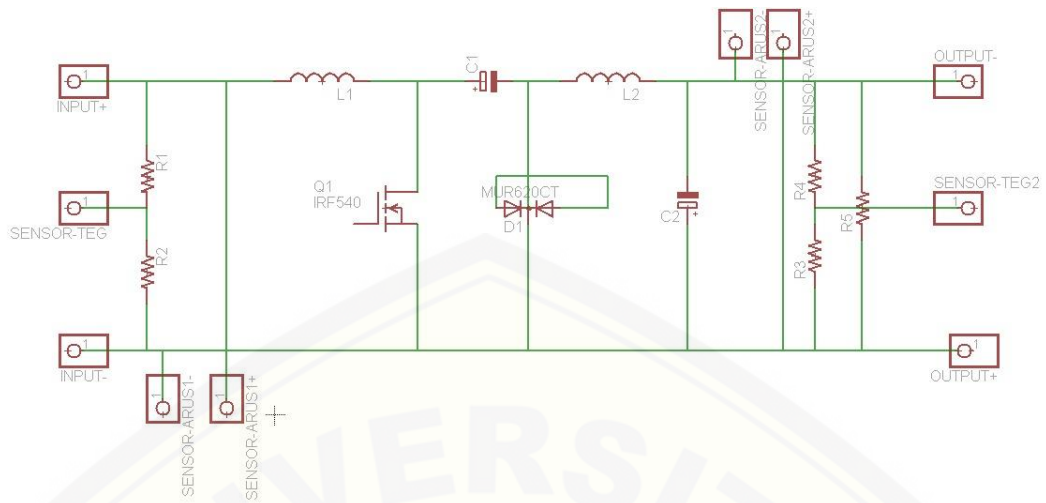
Pada gambar 3.9 ditunjukkan konfigurasi dari baterai yang ada pada sepeda listrik dengan menggunakan 2 baterai 12 volt dengan rangkaian seri.



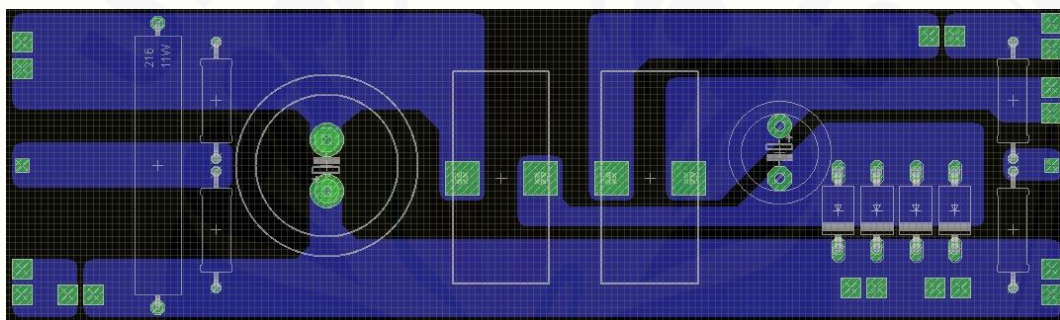
Gambar 3.9 Rangkaian Baterai

3.6.7 Desain Perancangan dan skematik rangkaian *Cuk converter* dan Kontroller Arduino

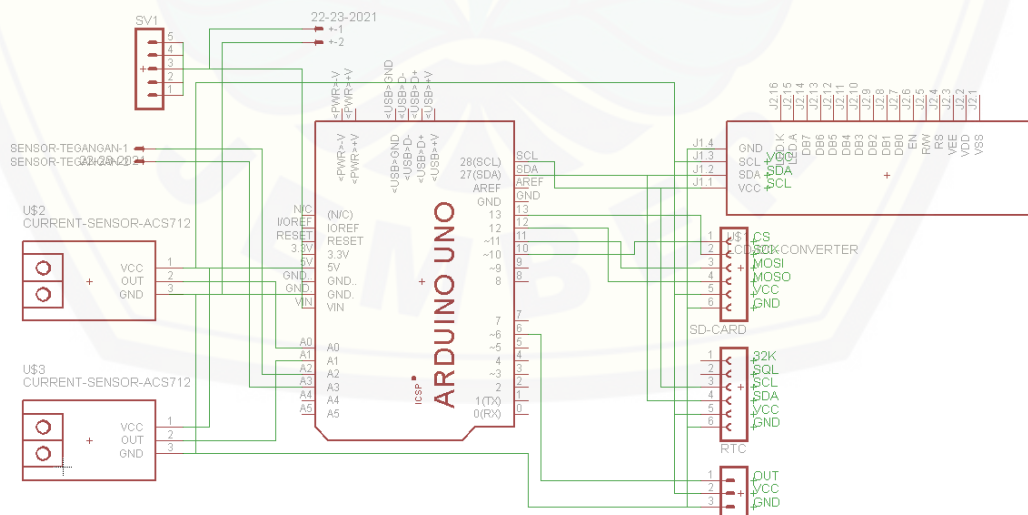
Berikut adalah gambar rancangan *Cuk converter* pada software *Eagle*. Perancangan ini nantinya akan dijadikan bentuk skema rangkaian.



Gambar 3.10 Perancangan rangkaian DC – DC *Cuk converter* di *Eagle*



Gambar 3.11 Skema rangkaian DC – DC *Cuk converter* di *Eagle*

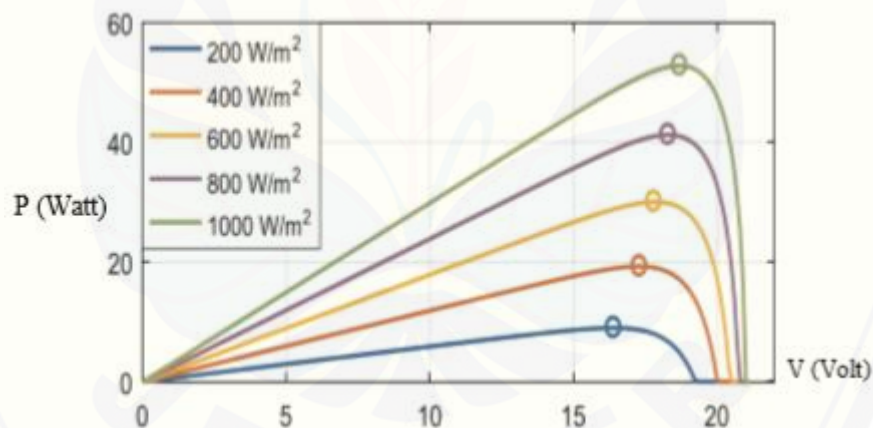


Gambar 3.12 Skema rangkaian sensor, LCD pada Mikrokontroler Arduino di *Eagle*

3.6.8 Perancangan *Fuzzy Logic Control*

Logika fuzzy merupakan cabang dari sistem kecerdasan buatan AI (*Artificial Intelligence*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan di mesin. (Nasution, 2012)

Spesifikasi panel surya untuk perancangan *fuzzy logic* yaitu panel surya dengan jenis *polycrystalline*, P_{max} sebesar 400W, V_{mp} sebesar 17.8V, I_{mp} sebesar 5.62A, V_{oc} sebesar 21.8V, I_{sc} sebesar 6.05A. Spesifikasi tersebut digunakan untuk perancangan input kontrol logika *fuzzy*. Dari spesifikasi tersebut dapat dibuat grafik perbandingan daya dan tegangan ($P - V$) dari berbagai variasi iradiasi cahaya matahari (ΔG) sebesar $1000 W/m^2$ dengan iradiasi maksimal matahari sebesar $1000 W/m^2$. Pada spesifikasi yang telah dijelaskan sebelumnya, nilai P_{max} (sebesar 100 Watt dapat dihasilkan oleh panel surya ketika nilai iradiasi mencapai nilai maksimal yaitu $1000 W/m^2$). Grafik $P - V$ dengan berbagai variasi iradiasi ditunjukkan pada gambar 3.13 berikut



Gambar 3.13 Grafik $P - V$ dengan berbagai variasi iradiasi (ΔG)= $200W/m^2$

Dari grafik tersebut dapat diketahui P_{max} pada setiap variasi iradiasi berada pada puncak grafik hubungan $P - V$. nilai P_{max} dapat diketahui dengan rumus perbandingan antara radiasi dan daya panel surya. Berikut adalah perhitungan nilai P_{max} dengan berbagai macam atau perubahan iradiasi (ΔG).

$$P_{max} = \frac{G}{100} \times P_m$$

- Saat Iradiasi $200 W/m^2$

$$P_{max} = \frac{G}{100} \times P_m = \frac{200}{1000} \times 100 = 20 \text{ Watt}$$

- Saat Iradiasi 400 W/m^2

$$P_{max} = \frac{G}{100} \times P_m = \frac{400}{1000} \times 100 = 40 \text{ Watt}$$

- Saat Iradiasi 600 W/m^2

$$P_{max} = \frac{G}{100} \times P_m = \frac{600}{1000} \times 100 = 60 \text{ Watt}$$

- Saat Iradiasi 800 W/m^2

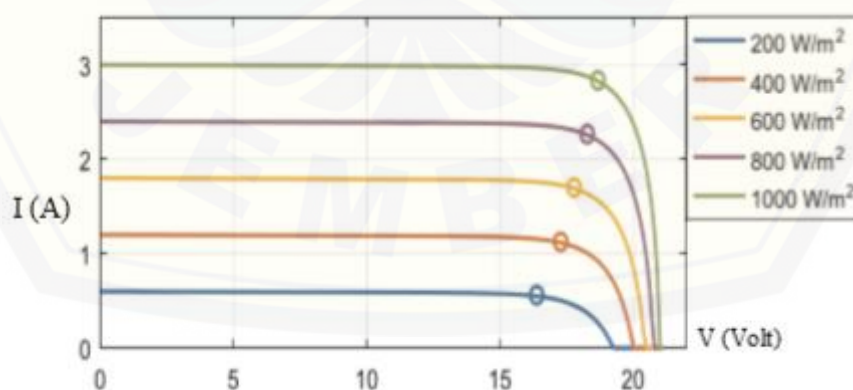
$$P_{max} = \frac{G}{100} \times P_m = \frac{800}{1000} \times 100 = 80 \text{ Watt}$$

- Saat Iradiasi 1000 W/m^2

$$P_{max} = \frac{G}{100} \times P_m = \frac{1000}{1000} \times 100 = 100 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada setiap perubahan iradiasi (ΔG) sebesar 200 W/m^2 maka akan diketahui perubahan daya (ΔG) sebesar 20 watt. Dari nilai perubahan iradiasi tersebut dapat diwakilkan dengan perubahan daya, sehingga nilai *input* untuk proses *fuzzyfikasi* yang berupa iradiasi dapat diwakilkan oleh perubahan daya yang dihasilkan dari perubahan nilai iradiasi.

Pada grafik hubungan I – V panel surya juga dapat diketahui pengaruh nilai iradiasi (G) pada perubahan nilai arus yang dihasilkan pada setiap perubahan iradiasi (ΔG). pada gambar 3.14 Dibawah ini merupakan nilai iradiasi yang berpengaruh terhadap nilai tegangan dan arus yang dihasilkan.



Gambar 3.14 Grafik I – V dengan berbagai variasi iradiasi (ΔG) = 200 W/m^2

Dari gambar grafik tersebut dapat diketahui perubahan iradiasi yang berpengaruh terhadap perubahan nilai arus yang dihasilkan, sehingga dapat dilakukan perhitungan nilai P_{max} dari hubungan iradiasi (ΔG) dengan perubahan

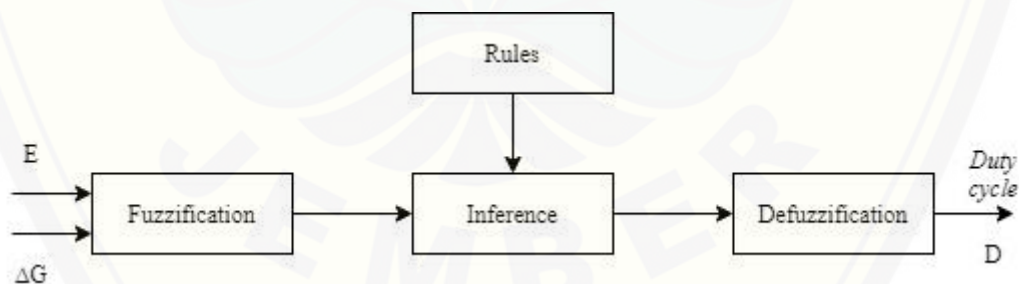
arus (dI). perhitungan hubungan nilai arus dan tegangan dapat diketahui dengan sebagai berikut :

$$\frac{\Delta G}{1000} = \frac{dI}{Imp}$$

$$dI = \frac{\Delta G}{1000} (Imp)$$

- Saat Perubahan Iradiasi (ΔG) = 200 W/m^2
 $dI = \frac{\Delta G}{1000} (Imp) = \frac{200}{1000} (5.62) = 1,124 \text{ A}$
- Saat Perubahan Iradiasi (ΔG) = 100 W/m^2
 $dI = \frac{\Delta G}{1000} (Imp) = \frac{100}{1000} (5.62) = 0,562 \text{ A}$
- Saat Perubahan Iradiasi (ΔG) = 10 W/m^2
 $dI = \frac{\Delta G}{1000} (Imp) = \frac{10}{1000} (5.62) = 0,0562 \text{ A}$

Dari nilai perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada setiap perubahan iradiasi (ΔG) sebesar 200 W/m^2 terjadi perubahan arus sebesar 1,124 A. pada saat perubahan iradiasi (ΔG) sebesar 100 W/m^2 ditunjukkan dengan perubahan arus sebesar 0,562 A, dan ketika (ΔG) sebesar 10 W/m^2 maka arus yang berubah akibat perubahan radiasi tersebut sebesar 0,0562 A. Blok diagram kerja Logika *Fuzzy* seperti pada gambar 3.15 berikut.



Gambar 3.15 Blok diagram *Fuzzy Logic Control* (FLC)

Berikut merupakan tahapan dari *fuzzy logic* kontrol :

1. Proses Fuzzyfikasi

Pada tahap ini adalah tahap awal dalam perancangan *control* pencarian titik daya maksimal, dimana pada tahap ini adalah proses untuk merubah data numerik yaitu pembacaan sensor arus dan sensor tegangan pada sisi *output Cuk converter* menjadi data-data *fuzzy* untuk proses pengolahan data lebih

lanjut. Sensor tegangan dan sensor arus ini akan dikalikan sehingga menjadi daya

a. Perhitungan nilai atau range untuk input nilai *Error* pada *fuzzy*

- Diketahui spesifikasi panel : $P_m = 100 \text{ Watt}$ ($G = 1000 \text{ W/m}^2$)

$$V_{mp} = 17,8 \text{ Volt}$$

- Pada saat $E > 0$ (bernilai positif)

$$\Delta P = P_m - 0 = 100 - 0 = 100 \text{ Watt}$$

$$\Delta V = V_{mp} - 0 = 17,8 - 0 = 17,8 \text{ Watt}$$

$$E_{max} = \frac{\Delta P_m}{\Delta V_{mp}} = \frac{100}{17,8} = 5,6$$

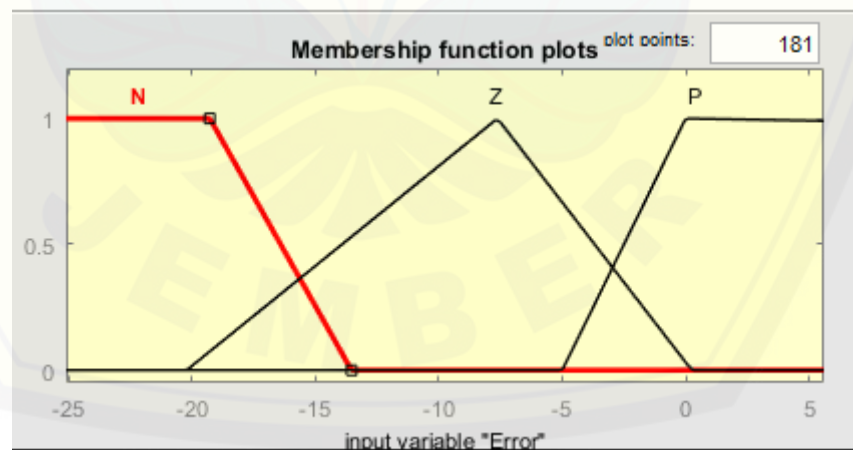
- Pada saat $E < 0$ (bernilai negatif)

$$\Delta P = P_m - 0 = 100 - 0 = 100 \text{ Watt}$$

$$\Delta V = V_{oc} - V_{mp} = 21,8 - 17,8 = 4 \text{ Watt}$$

$$E_{min} = \frac{\Delta P_m}{\Delta V_{mp}} = \frac{100}{4} = -25$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui range nilai fungsi keanggotaan nilai *input Error* yaitu berada pada range -25,1 sampai dengan 5,6. Berikut adalah hasil perancangan *membership function Error*.



Gambar 3.16 *Membership Function Error*

b. Perhitungan nilai atau range untuk *input* nilai Delta *Error* pada *fuzzy*

Rumus perhitungan Delta *Error* (ΔE) = $E(k) - E(k - 1)$

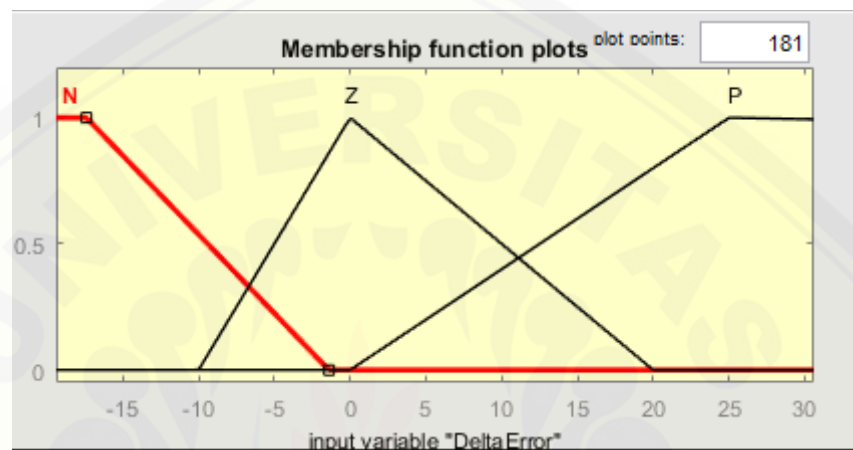
- Pada saat $E > 0$ (bernilai positif)

$$\Delta E_{max} = E(k) - E(k - 1) = 5,6 - (-25) = 30,6$$

- Pada saat $E < 0$ (bernilai negatif)

$$\Delta E_{min} = E(k) - E(k-1) = 5,6 - (25) = -19,4$$

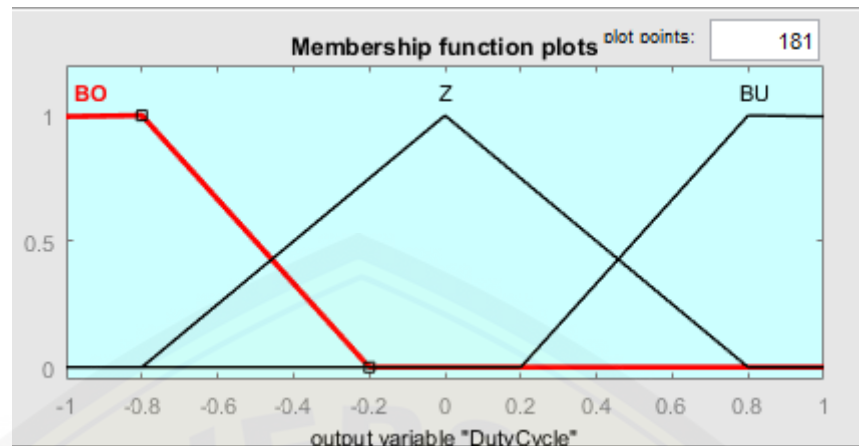
Dari perhitungan tersebut dapat diketahui untuk range nilai dari fungsi leanggotaan nilai *input* Delta Error yaitu berada pada range nilai -19,4 sampai dengan 30,6. Berikut adalah hasil perancangan *membership function* Delta Error.



Gambar 3.17 *Membership Function Delta Error*

- c. Perancangan *output* nilai *Duty cycle* pada *fuzzy*

Perancangan *membership function* nilai *output* digunakan sebagai kontrol *fuzzy*. Range nilai dari -1 sampai 1 dengan dibagi 3 kurva yaitu N (Negatif), Z (Zero), P (Positif). Nilai -1 sampai dengan 1 ini selanjutnya akan di map menjadi nilai PWM yang disesuaikan pada kontrol yang akan diterapkan. Nilai *output duty cycle* ini digunakan sebagai acuan kontrol pada mikrokontroller Arduino Uno untuk meberika nilai *duty cycle* secara otomatis berdasarkan nilai *error* dan *delta error* pada *input* untuk mendapatkan nilai yang maksimal yang dapat dihsilkan oleh panel surya. Berikut adalah gambar perancangan *membership function* pada *output fuzzy*.



Gambar 3.18 Membership Function Duty Cycle (D)

2. Proses Inferensi

Pada tahap ini dilakukan proses untuk merumuskan pemetaan nilai-nilai dari masukan yaitu *Error* (E) dan *Delta Error* (ΔE) yang diberikan ke sebuah *output* dengan aturan-aturan (*Rule Base*) yang berada pada logika *fuzzy* dan juga dilakukan dengan metode untuk pemilihan nilai dari derajat keanggotaan *input*. Berikut pada tabel adalah *Rule Base* dari *fuzzy* yang telah dirancang.

Tabel 3.7 Rule Base pada Fuzzy logic

E/ ΔE	N	Z	P
N	BO	BO	Z
Z	BO	Z	BU
P	Z	BU	BU

Proses selanjutnya yaitu mengumpulkan semua nilai derajat keanggotaan yang telah diketahui dari perhitungan pada *fuzzifikasi* untuk proses inferensi yang disesuaikan dengan *Rule Base* yang telah ditentukan pada tabel 3.7. Selanjutnya adalah nilai derajat keanggotaan yang telah dihitung pada proses *fuzzifikasi*. Tahap berikutnya yaitu memasukkan nilai derajat keanggotaan pada setiap *Rule Base* yang telah dibuat. Pada tabel 3.8 Terdapat 9 *Rule Base* yang diimplenetasikan pada sistem *fuzzy* ini.

Pada sistem *Rule Base* yang telah dirancang, digunakan fungsi *AND* (\cap) sebagai ketentuan pemilihan nilai pada kedua *input*. Untuk penggunaan fungsi sebagai ketentuan pemilihan nilai pada kedua *input*. Untuk penggunaan

fungsi *AND* maka kriteria nilai yang akan dipilih yaitu MIN(nilai terkecil yang akan dipilih sebagai acuan). Nilai alpha yang tidak sama dengan 0 akan diproses dengan cara menarik nilai-nilai tersebut ke fungsi keanggotaan *output* sesuai dengan aturan (*Rule Base*) yang telah ditetapkan. Berikut adalah nilai alpha yang memiliki nilai tidak sama dengan 0.

3. Tahap Defuzzyfikasi

Pada tahap defuzzyfikasi ini dilakukan berdasarkan derajat keanggotaan yang didapatkan pada proses inferensi, yang kemudian pada tahap ini dilakukan dengan menggunakan metode centroid yaitu diperoleh dengan menghitung momen dan luas daerah implikasi seperti yang terdapat dibawah ini:

$$Z^* = \frac{\int \mu D.(z).z dz}{\int \mu D.(z) dz}$$

- Perhitungan luas daerah setiap daerah implikasi

$$A = \frac{1}{2} \times (a. t)$$

- Perhitungan momen pada setiap daerah implikasi

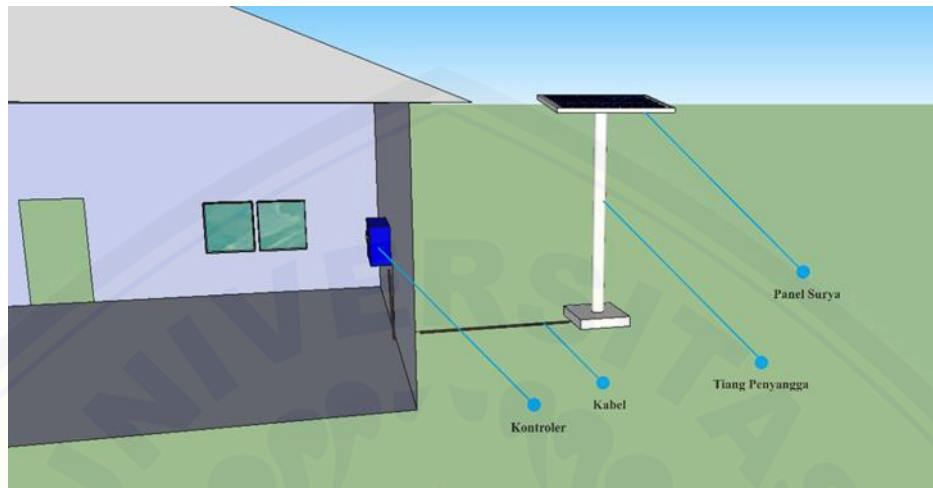
$$M = \int \mu D.(z).z dz$$

$$M^* = \frac{(M1 + M2 + M3)}{(A1 + A2 + A3)}$$

Setelah didapatkan nilai Z berdasarkan hasil perhitungan pada tahap defuzzyfikasi maka, nilai Z disini akan digunakan sebagai *input* kontrol pada *Cuk converter* yang berupa nilai PWM, baik itu digunakan untuk menambah maupun mengurangi besarnya nilai PWM yang akan diberikan *Cuk converter*.

3.7 Desain Alat

Pada gambar 3.19 menjelaskan gambar desain modul surya yang dirangkai secara seri.



Gambar 3.19 Desain Alat

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Solar Charger Berbasis *Cuk converter* Dengan Kontrol *Fuzzy Logic*” dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada pengujian rancang bangun *Cuk converter* nilai efisiensi tertinggi pada *Cuk converter* dengan beban 27Ω dengan tegangan *input* 60 volt dan tegangan *output* sebesar 28,049 volt, sedangkan untuk efisiensi terendah *Cuk converter* dengan beban 15Ω dengan tegangan *input* sebesar 60 volt dan tegangan *output* 21,8 volt.
2. Pada pengujian *Cuk converter* dengan *control* fuzzy untuk mendapatkan tegangan yang stabil yaitu saat *Cuk converter* dengan beban 15 ohm yang menghasilkan tegangan keluaran sebesar 28,3 volt.
3. Pada pengujian pengisian baterai hingga kondisi *cut off*, *Cuk converter* mampu menyimpan energi pada baterai sebesar 275,625 Wh dan menerima energi dari panel surya sebesar 420,48 Wh selama 2 Jam, 3 menit, 33 detik, dengan efisiensi sebesar 64% dengan daya terbesar yaitu 60 watt.
4. Hasil pada perancangan *Cuk converter* dapat menghasilkan tegangan yang lebih rendah dengan nilai *duty cycle* 26% maka tegangan yang dapat dihasilkan oleh *Cuk converter* lebih kecil dari tegangan input.
5. Pada performa *Cuk converter* dengan kontrol fuzzy ketika di terapkan pada proses *charging* memiliki performa yang baik. Daya *charging* yang dihasilkan pada saat tegangan sebesar 28 volt sebesar 18,52 watt. Dengan proses *charging* menggunakan 2 buah baterai yang dirangkai seri berkapasitas 12 Ah yang membutuhkan waktu selama 2 jam dari tegangan 24,32 volt sampai 28,34 Volt.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, penulis memberikan saran agar bisa mengembangkan untuk penelitian selanjutnya. Berikut saran yang dapat disampaikan:

1. Jenis kontrol kestabilan tegangan dapat digantikan dengan kontrol cerdas yang lain yang bertujuan untuk dapat mendapatkan respon kontrol yang lebih baik seperti *Artificial Neural Network* (ANN) atau *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*(ANFIS).
2. DC-DC CUK *Converter* dapat digantikan dengan jenis-jenis DC-DC *converter* yang lain, misalnya *Zero-Voltage Switching* (ZVS) *converter* atau *Multi-stage Boost converter* untuk dilakukan perbandingan performa antara CUK *converter* dan jenis dc-dc *converter* yang lain.
3. Pada penelitian yang selanjutnya dimungkinkan untuk digunakan sistem proteksi *Auto Cut Off* agar pada proses pengisian baterai ketika dalam kondisi penuh bisa terdeteksi dan otomatis mengakhiri proses pengisian baterai.
4. Dalam penelitian selanjutnya dimungkinkan untuk menggunakan energi terbarukan yang lain, misalnya *wind turbin* atau lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Allegro®. (2007). ACS712 [Datasheet]. *Allegro MicroSystems, Inc*, 1–14.
www.allegromicro.com
- Anam, A. K. (2020). *Sistem Elektronika Daya Pada Kendaraan Listrik Bertenaga Sel Surya*. Skripsi (dalam proses penerbitan). Jurusan Teknik Elektro. Universitas Jember.
- Eka Wardani, L. (2005). Prototipe Pemberian Pakan Ayam Berbasis Arduino. *NASPA Journal*, 42(4), 1.
- Farnell. (2013). Arduino Uno Datasheet. *Datasheets*, 1–4.
<https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>
- Geist, T., & May-ostendorp, P. (2006). *Designing Battery Charger Systems for Improved Energy Efficiency*.
- J. Klir, B. Y. and G. (1996). *Fuzzy Sets, Fuzzy Systems (Selected Papers by Lotfi A. Zadeh)*.
- Kusumadewi, S. (2002). *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*.
- Li-Xin Wang. (1997). *A course in fuzzy systems and control*.
- Motion, P., & Tuning, C. (2018). Sistem Konverter Cuk Dengan Pengendali Kalang Terbuka (Open Loop). *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia*, 1–16.
- Nasution, H. (2012). Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, 4(2), 4–8.
<https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/512>
- Susanto, B. K. (2017). *Desain dan implementasi konverter cuk dengan induktor terkopel untuk reduksi ripple arus masukan*. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro. [Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
<http://repository.its.ac.id/1620/>
- Tri, F., & Putra, W. (n.d.). *Rancang Bangun DC – DC SEPIC Converter Dengan Kontrol MPPT Pada Panel Surya Berbasis PID*.
- W. Hart Danial. (2010). *Commonly used Power and Converter Equations*.

Zhang, J. (2016). Zhang , J ., Anderson , R . C ., & Nguyen , K . (2016). *Language-rich discussions for English language learners . Interna Journal of Educational Research . 58(March), 44–60.*

LAMPIRAN

Lampiran 1. Listing Program

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

//int smooth = 500;
//float arus1 = 0, arus2 = 0, teg1 = 0, teg2 = 0;

//-----
float tegIn = 0;
float Vin = 0;
float tegOut = 0;
float Vout = 0;
float Pin;
float Pout;
//-----Arus input-----
float dataarustotalIn;
float dataarusIn;
double Voltage = 0;
double arusIn = 0;
int mVperAmp = 100;
//-----Arus Output-----
float dataarustotalOut;
```

```
float dataarusOut;
double arusOut = 0;

//-----
float PWMOut = 0;
int OutPin = 6;
int number = 30;

#include "fis_header.h"

const int fis_gcI = 2;
const int fis_gcO = 1;
const int fis_gcR = 25;

FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];
float pin = 0, pout = 0;
float vin = 0, vout = 0;
float pdelta = 0, vdelta = 0;
float error = 0, errordelta = 0;

void setup()
{
    TCCR0B = TCCR0B & B11111000 | B00000001; // for PWM
frequency of 62.04 KHz
    pinMode(OutPin, OUTPUT);
    Serial.begin(9600);

    // put your setup code here, to run once:
```



```
//lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Vi:");
lcd.setCursor(0, 1);;
lcd.print("Vo:");
lcd.setCursor(8, 0);
lcd.print("Ii:");
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print("Io:");
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print("Pi:");
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("Po:");
lcd.setCursor(10, 3);
lcd.print("Pout:");
analogWrite(OutPin , 10);
delay(500);
}

void loop()
{
  BacaSensor();
  bacaSerial();
  TampilLCD();
  KirimInfo();

  error = number - Vout;
  g_fisInput[0] = error;
  g_fisInput[1] = errordelta;
```

```
g_fisOutput[0] = 0;

fis_evaluate();
PWMOut += (g_fisOutput[0] * 10);
PWMOut = constrain(PWMOut, 0, 255);
analogWrite(OutPin , PWMOut);
// analogWrite(OutPin , 20);

BacaSensor();
errordelta = (number - Vout) - error;
// Serial.print("Input:");
// Serial.println(g_fisInput[0]);
}

void bacaSerial() {
  if ( Serial.available() > 0 )
  {
    static char input[16];
    static uint8_t i;
    char c = Serial.read();

    if ( c != '\r' && i < 15 ) // assuming "Carriage
Return" is chosen in the Serial monitor as the line
ending character
      input[i++] = c;

    else
    {
      input[i] = '\0';
      i = 0;
    }
  }
}
```

```
        number = atoi(input);

        analogWrite(OutPin, number);
    }
}

//*****
*****
// Support functions for Fuzzy Inference System
//*****
*****
// Trapezoidal Member Function
FIS_TYPE fis_trapmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2], d = p[3];
    FIS_TYPE t1 = ((x <= c) ? 1 : ((d < x) ? 0 : ((c !=
d) ? ((d - x) / (d - c)) : 0)));
    FIS_TYPE t2 = ((b <= x) ? 1 : ((x < a) ? 0 : ((a !=
b) ? ((x - a) / (b - a)) : 0)));
    return (FIS_TYPE) min(t1, t2);
}

// Triangular Member Function
FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
```

```
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2 * (b <= x) * (x <=
c));
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1 * (a <= x) * (x <=
b));
    t1 = min(t1, t2);
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}

FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return min(a, b);
}

FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return max(a, b);
}

FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size,
_FIS_ARR_OP pfnOp)
{
    int i;
    FIS_TYPE ret = 0;

    if (size == 0) return ret;
    if (size == 1) return array[0];

    ret = array[0];
    for (i = 1; i < size; i++)
    {
```

```
        ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
    }

    return ret;
}

//*****
// Data for Fuzzy Inference System
//*****
// Pointers to the implementations of member functions
_FIS_MF fis_gMF[] =
{
    fis_trapmf, fis_trimf
};

// Count of member function for each Input
int fis_gIMFCount[] = { 5, 5 };

// Count of member function for each Output
int fis_gOMFCount[] = { 5 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { -15, -5, -4.7, -2.3 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { -3, -2, -0.2 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { -0.5, 0, 0.5 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff4[] = { 0.2, 2, 3 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff5[] = { 2.3, 4.7, 5, 15 };
```



```
FIS_TYPE*   fis_gMFI0Coeff[]   =   {   fis_gMFI0Coeff1,
fis_gMFI0Coeff2,   fis_gMFI0Coeff3,   fis_gMFI0Coeff4,
fis_gMFI0Coeff5   };
FIS_TYPE   fis_gMFI1Coeff1[] = { -1, -1, -0.94, -0.46 };
FIS_TYPE   fis_gMFI1Coeff2[] = { -0.6667, -0.4, 0 };
FIS_TYPE   fis_gMFI1Coeff3[] = { -0.2667, 0, 0.2667 };
FIS_TYPE   fis_gMFI1Coeff4[] = { 0, 0.4, 0.6667 };
FIS_TYPE   fis_gMFI1Coeff5[] = { 0.46, 0.94, 1, 1 };
FIS_TYPE*   fis_gMFI1Coeff[]   =   {   fis_gMFI1Coeff1,
fis_gMFI1Coeff2,   fis_gMFI1Coeff3,   fis_gMFI1Coeff4,
fis_gMFI1Coeff5   };
FIS_TYPE**   fis_gMFI0Coeff[]   =   {   fis_gMFI0Coeff,
fis_gMFI1Coeff   };

// Coefficients for the Output Member Functions
FIS_TYPE   fis_gMFO0Coeff1[] = { -1.383, -1.02, -0.9174,
-0.4576 };
FIS_TYPE   fis_gMFO0Coeff2[] = { -0.6, -0.5, -0.0662 };
FIS_TYPE   fis_gMFO0Coeff3[] = { -0.1087, 0, 0.1085 };
FIS_TYPE   fis_gMFO0Coeff4[] = { 0.0768, 0.506, 0.6};
FIS_TYPE   fis_gMFO0Coeff5[] = { 0.4574, 0.9174, 1.02,
1.382};
FIS_TYPE*   fis_gMFO0Coeff[]   =   {   fis_gMFO0Coeff1,
fis_gMFO0Coeff2,   fis_gMFO0Coeff3,   fis_gMFO0Coeff4,
fis_gMFO0Coeff5   };
FIS_TYPE**   fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff };

// Input membership function set
int   fis_gMFI0[] = { 0, 1, 1, 1, 0 };
int   fis_gMFI1[] = { 0, 1, 1, 1, 0 };
int*   fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1};
```

```
// Output membership function set
int fis_gMFO0[] = { 0, 1, 1, 1, 0 };
int* fis_gMFO[] = { fis_gMFO0};

// Rule Weights
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Type
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Inputs
int fis_gRI0[] = { 1, 1 };
int fis_gRI1[] = { 1, 2 };
int fis_gRI2[] = { 1, 3 };
int fis_gRI3[] = { 1, 4 };
int fis_gRI4[] = { 1, 5 };
int fis_gRI5[] = { 2, 1 };
int fis_gRI6[] = { 2, 2 };
int fis_gRI7[] = { 2, 3 };
int fis_gRI8[] = { 2, 4 };
int fis_gRI9[] = { 2, 5 };
int fis_gRI10[] = { 3, 1 };
int fis_gRI11[] = { 3, 2 };
int fis_gRI12[] = { 3, 3 };
int fis_gRI13[] = { 3, 4 };
int fis_gRI14[] = { 3, 5 };
int fis_gRI15[] = { 4, 1 };
int fis_gRI16[] = { 4, 2 };
```

```
int fis_gRI17[] = { 4, 3 };
int fis_gRI18[] = { 4, 4 };
int fis_gRI19[] = { 4, 5 };
int fis_gRI20[] = { 5, 1 };
int fis_gRI21[] = { 5, 2 };
int fis_gRI22[] = { 5, 3 };
int fis_gRI23[] = { 5, 4 };
int fis_gRI24[] = { 5, 5 };
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2,
fis_gRI3, fis_gRI4, fis_gRI5, fis_gRI6, fis_gRI7,
fis_gRI8, fis_gRI9, fis_gRI10, fis_gRI11, fis_gRI12,
fis_gRI13, fis_gRI14, fis_gRI15, fis_gRI16, fis_gRI17,
fis_gRI18, fis_gRI19, fis_gRI20, fis_gRI21, fis_gRI22,
fis_gRI23, fis_gRI24 };

// Rule Outputs
int fis_gRO0[] = { 1 };
int fis_gRO1[] = { 1 };
int fis_gRO2[] = { 1 };
int fis_gRO3[] = { 2 };
int fis_gRO4[] = { 3 };
int fis_gRO5[] = { 1 };
int fis_gRO6[] = { 1 };
int fis_gRO7[] = { 2 };
int fis_gRO8[] = { 3 };
int fis_gRO9[] = { 4 };
int fis_gRO10[] = { 1 };
int fis_gRO11[] = { 2 };
int fis_gRO12[] = { 3 };
int fis_gRO13[] = { 4 };
int fis_gRO14[] = { 5 };
```

```
int fis_gRO15[] = { 2 };
int fis_gRO16[] = { 3 };
int fis_gRO17[] = { 4 };
int fis_gRO18[] = { 5 };
int fis_gRO19[] = { 5 };
int fis_gRO20[] = { 3 };
int fis_gRO21[] = { 4 };
int fis_gRO22[] = { 5 };
int fis_gRO23[] = { 5 };
int fis_gRO24[] = { 5 };
int*  fis_gRO[]  = {  fis_gRO0,  fis_gRO1,  fis_gRO2,
fis_gRO3,  fis_gRO4,  fis_gRO5,  fis_gRO6,  fis_gRO7,
fis_gRO8,  fis_gRO9,  fis_gRO10, fis_gRO11, fis_gRO12,
fis_gRO13, fis_gRO14, fis_gRO15, fis_gRO16, fis_gRO17,
fis_gRO18, fis_gRO19, fis_gRO20, fis_gRO21, fis_gRO22,
fis_gRO23, fis_gRO24 };

// Input range Min
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { -10, -1 };

// Input range Max
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 10, 1 };

// Output range Min
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { -0.5 };

// Output range Max
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 0.5 };

//*****
*****
```

```
// Data dependent support functions for Fuzzy Inference
System
//*****
*****
FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE
x, int o)
{
    FIS_TYPE mfOut;
    int r;

    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        int index = fis_gRO[r][o];
        if (index > 0)
        {
            index = index - 1;
            mfOut = (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else if (index < 0)
        {
            index = -index - 1;
            mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else
        {
            mfOut = 0;
        }
    }
}
```



```
        fuzzyRuleSet[0][r]          =      fis_min(mfOut,
fuzzyRuleSet[1][r]);
    }
    return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR,
fis_max);
}

FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet,
int o)
{
    FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) /
(FIS_RESOLUTION - 1);
    FIS_TYPE area = 0;
    FIS_TYPE momentum = 0;
    FIS_TYPE dist, slice;
    int i;

    // calculate the area under the curve formed by the
MF outputs
    for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i) {
        dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
        slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
        area += slice;
        momentum += slice * dist;
    }

    return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o])
/ 2) : (momentum / area));
}
```

```
/**
 *
 */
// Fuzzy Inference System
/**
 *
 */
void fis_evaluate()
{
    FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0,
fuzzyInput1, };
    FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0, };
    FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires
};
    FIS_TYPE sW = 0;

    // Transforming input to fuzzy Input
    int i, j, r, o;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
        {
            fuzzyInput[i][j] =
                (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i],
fis_gMFIcoeff[i][j]);
        }
    }
}
```

```
int index = 0;
for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
{
    if (fis_gRType[r] == 1)
    {
        fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)
                fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
            else if (index < 0)
                fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
            else
                fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);
        }
    }
    else
    {
        fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)
                fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
            else if (index < 0)
                fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
```

```
        else
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0);
        }
    }

    fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
    sW += fuzzyFires[r];
}

if (sW == 0)
{
    for (o = 0; o < fis_gc0; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) /
2);
    }
}
else
{
    for (o = 0; o < fis_gc0; ++o)
    {
        g_fisOutput[o]
fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o);
    }
}
}
```

```
void KirimInfo() {
    Serial.print(Vin);
    Serial.print("|");
    Serial.print(arusIn);
}
```

```
Serial.print("|");
Serial.print(Vout);
Serial.print("|");
Serial.print(arusOut);
Serial.println("|");
delay(100);
}

void BacaSensor() {
  bacasensorteg();
  sensorarusin();
  sensorarusout();
}

void bacasensorteg()
{
  tegOut = analogRead(A0);
  Vout = ((tegOut * 0.0968) + 0.1046);
  tegIn = analogRead(A2);
  Vin = ((tegIn * 0.0958) + 0.6479);
  delayMicroseconds(100);
  Pin = Vin * arusIn;
  Pout = Vout * arusOut;
}

//=====Sensor Arus Input=====
void sensorarusin()
{
  float dataarusIn[200];
  dataarustotalIn = 0;
```



```
    arusIn = 0;
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
        dataarusIn[i] = analogRead(A3);
    }

    dataarustotalIn = ((dataarusIn[0] + dataarusIn[1] +
dataarusIn[2] + dataarusIn[3] + dataarusIn[4] +
dataarusIn[5] + dataarusIn[6] + dataarusIn[7] +
dataarusIn[8] + dataarusIn[9] ) / 10);
    Voltage = (dataarustotalIn / 1024.0) * 5000;
    arusIn = ((Voltage - 2500) / mVperAmp);
    arusIn = (0.9644 * arusIn) - 0.0846;
    if (arusIn < 0) {
        arusIn = 0;
    }
}

//=====Sensor                                     Arus
Output=====
void sensorarusout()
{
    float dataarusOut[200];
    dataarustotalOut = 0;
    arusOut = 0;
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
        dataarusOut[i] = analogRead(A1); //Pembacaan
sensor arus output
    }

    dataarustotalOut = ((dataarusOut[0] + dataarusOut[1]
+ dataarusOut[2] + dataarusOut[3] + dataarusOut[4] +
dataarusOut[5] + dataarusOut[6] + dataarusOut[7] +
dataarusOut[8] + dataarusOut[9]) / 10);
```

```
Voltage = (dataarustotalOut / 1024.0) * 5000;  
arusOut = ((Voltage - 2500) / mVperAmp);  
arusOut = (0.8625 * arusOut) - 0.0194;  
//arusOut = (0.9644*arusOut) - 0.2646;  
if (arusOut < 0) {  
    arusOut = 0;  
}  
}  
  
void TampilLCD() { //Tampilan pada LCD  
    lcd.setCursor(3, 0);  
    lcd.print(Vin);  
    lcd.setCursor(3, 1);  
    lcd.print(Vout);  
    lcd.setCursor(10, 0);  
    lcd.print(arusIn);  
    lcd.setCursor(10, 1);  
    lcd.print(arusOut);  
    lcd.setCursor(13, 1);  
    lcd.print(Pin);  
    lcd.setCursor(13, 2);  
    lcd.print(Pout);  
}
```

Lampiran 2. Dokumentasi

Gambar 1. Proses pengujian secara keseluruhan sistem



Gambar 2. Proses pengujian karakteristik panel surya



Gambar 3. Baterai Yuassa yang digunakan



Gambar 4. Bentuk fisik *Cuk converter* yang telah dirancang

