



**RANCANG BANGUN SEPIC *CONVERTER* UNTUK PANEL SURYA
DENGAN MPPT *INCREMENTAL CONDUCTANCE* SEBAGAI
PENGISIAN BATERAI SEPEDA LISTRIK**

SKRIPSI

Oleh

Mohamad Arif Baihaqiy

NIM 151910201028

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**RANCANG BANGUN SEPIC *CONVERTER* UNTUK PANEL SURYA
DENGAN MPPT *INCREMENTAL CONDUCTANCE* SEBAGAI
PENGISIAN BATERAI SEPEDA LISTRIK**

SKRIPSI

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

Oleh

Mohamad Arif Baihaqiy

NIM 151910201028

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

2019

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji Syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas limpahan rahmat dan kasih sayangnya, sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini. Akhirnya saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang Maha segalanya.
2. Nabi Muhammad SAW, yang telah menjadi panutan bagi seluruh manusia.
3. Kedua orangtua, Ibu Ulfatuzzuhroh, Bapak M. Efendi yang tidak pernah lelah memberikan segalanya. Doa, dukungan moril maupun materiil serta kasih sayangnya yang tak pernah terhenti.
4. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan penelitian untuk tugas akhir ini.
5. Keluarga besar UKM Robotika Teknik Fakultas Teknik yang telah memberikan banyak sekali ilmu dan pengalaman berharga.
6. Kawan-kawan ngelab yang menemani penelitian setiap malam hingga larut pagi
7. Jamaah brutaliyah yang suka menghibur dengan segala candaannya yang tidak biasa
8. Keluarga besar DISTORSI Teknik Elektro angkatan 15 yang telah menemani perjalanan hidup di Jember.
9. Almamater Jurusan Teknik Elektro Universitas jember.

MOTTO

“Dan Dia memberinya rezeki dari arah yang tidak disangka-sangka nya. Dan barang siapa bertawakal kepada Allah, niscaya Allah akan mencukupkan (keperluan)nya. Sesungguhnya Allah melaksanakan urusan-Nya. Sungguh, Allah telah mengadakan ketentuan bagi setiap sesuatu ”

(QS Al-Baqarah 45)¹

“Aku akan bersabar hingga kesabaran tak mampu menahan kesabaranku. Aku akan bersabar hingga Allah memperkenankan urusanku. Aku akan bersabar hingga kesabaran tahu bahwa aku bersabar atas sesuatu yang lebih pahit daripada kesabaran itu sendiri”

(Imam Syafi’i)²

“Maksiat yang melahirkan ketaatan lebih baik dari pada ketaatan yang melahirkan kesombongan”.

(Ibnu Athaillah Al-Iskandari)³

¹ Kementerian Agama RI. 2007. *Al Qur'an dan Terjemahannya Dilengkapi dengan Kajian Usul Fiqih dan Intisari Ayat*. Bandung : Syaamil quran.

² Muhammad Al-Faiz & Juman Rofarif. 2016. *Al-Hikam Imam Syafi'I Mutiara Hikmah & Syair Indah Imam Ahlussunnah*. Jakarta : Zaman

³ Ibnu Athaillah. 2015. *Mengaji Tajul 'Arus Rujukan Utama Mendidik Jiwa*. Jakarta : Zaman

PERNYATAAN

Saya yang betandatangani dibawah ini:

Nama : Mohamad Arif Baihaqiy

NIM : 151910201028

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Rancang Bangun SEPIC Converter Untuk Panel Surya Dengan MPPT Incremental Conductance Sebagai Pengisian Baterai Sepeda Listrik” 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 ini tidak benar.

Jember, 28 Mei 2019

Yang menyatakan,

Mohamad Arif Baihaqiy

NIM 151910201028

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SEPIC *CONVERTER* UNTUK PANEL SURYA
DENGAN MPPT *INCREMENTAL CONDUCTANCE* SEBAGAI
PENGISIAN BATERAI SEPEDA LISTRIK**

Oleh

Mohamad Arif Baihaqiy

NIM 151910201028

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. TriwahjuHardianto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun SEPIC *Converter* Untuk Panel Surya Dengan MPPT *Incremental Conductance* Sebagai Pengisian Baterai Sepeda Listrik” telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 29 Mei 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. TriwahjuHardianto, S.T., M.T..
NIP 197008261997021001

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T
NIP 197104022003121001

PengujiI

PengujiII,

R. B. Moch. Gozali, S.T., M.T.
NIP 196906081999031002

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 19631201199402 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP 19661215199503 2001

Ringkasan

Rancang Bangun SEPIC Converter Untuk Panel Surya Dengan MPPT Incremental Conductance Sebagai Pengisian Baterai Sepeda Listrik; Mohamad Arif Baihaqiy, 151910201028; 2019; 110 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pencemaran udara dewasa ini semakin menampakkan kondisi yang sangat memprihatinkan. Penyebabnya diantaranya adalah kendaraan bermotor. Kendaraan ini dapat menjadi solusi untuk menggantikan sepeda motor dengan menggunakan bahan bakar minyak. Saat ini sepeda listrik ketika melakukan pengisian baterai masih bergantung pada listrik yang bersumber dari PLN. Baterai ini yang akan digunakan untuk menggerakkan motor DC/BLDC yang digunakan untuk menggerakkan sepeda listrik. Berdasarkan proyeksi kebutuhan listrik penduduk Indonesia hingga tahun 2024 nanti yakni mencapai 50.000 MW. Banyak sekali potensi energi alternatif yang dapat dikembangkan di Indonesia, diantaranya adalah energi surya. Agar dapat merubah energi surya menjadi energi listrik, dibutuhkan sebuah panel surya. Energi listrik DC dari panel surya ini yang akan digunakan untuk melakukan charging pada baterai sepeda listrik agar tidak bergantung lagi pada sumber listrik dari PLN.

Sel surya merupakan sebuah piranti yang digunakan untuk mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Variasi beban dan cuaca sangat menentukan daya keluaran dari solar cell. Untuk menanggulangi hal tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan konverter DC/DC tipe SEPIC dengan algoritma MPPT InC (*Incremental Conductance*) agar *solar cell* dapat menghasilkan daya yang lebih maksimal.

Pada penelitian ini digunakan solar cell dengan konfigurasi seri dengan tegangan output berkisar antara 31-39 Volt. Konfigurasi kedua solar cell tersebut sama-sama menggunakan 100 Wp. Baterai sepeda listrik yang digunakan adalah dengan kapasitas 48 Volt 12 Ah, dimana baterai ini tersusun atas 4 baterai 12 Volt yang dirangkai secara seri. Karena tegangan baterai lebih besar dari tegangan solar cell, sehingga tegangan perlu dinaikkan dengan set point 55 Volt dengan SEPIC Converter.

SEPIC converter dapat digunakan sebagai penaik tegangan maupun penurun tegangan. Duty Cycle diatas 50% bertindak sebagai penaik tegangan dan dibawah 50% bertindak sebagai penurun tegangan. Pada saat pengujian menggunakan beban 330 Ohm. Tegangan maksimal yang dikeluarkan adalah 125 Volt pada duty cycle 80%. Sedangkan untuk tegangan yang paling kecil adalah 4,6 Volt pada duty cycle 10%. Duty cycle. Sepic converter memiliki efisiensi diatas 90% pada saat diatas duty cycle 50%. Efisiensi tertinggi didapatkan pada

duty cycle 65%. Daya output adalah 11,86 Watt sedangkan daya inputnya adalah 11,966 Watt.

Untuk mendapatkan daya maksimum saat melakukan pengisian baterai digunakan metode MPPT InC. Pada pengujian converter dengan metode dan tanpa metode, digunakan beban resistif yaitu 50 Ohm, 100 Ohm, 220 Ohm, dan 330 Ohm Untuk pengujian yang pertama yaitu dengan menggunakan beban resistif sebesar 50 Ω , dimana diketahui bahwa pada saat pengujian *open loop* saat dilakukan pembebanan maka tegangan akan terus mengalami drop tegangan, dan akan berbeda saat menggunakan metode kontrol MPPT INC, maka saat dilakukan pembebanan akan terjadi drop tegangan yang kemudian akan kembali lagi pada *set point* dengan cara penambahan PWM sehingga merubah besarnya *duty cycle* pada SEPIC *converter*. Pada saat pengujian menggunakan kontrol MPPT INC diketahui bahwa terjadinya drop tegangan sebelum kembali menuju set point adalah sebesar 9 Volt. Untuk waktu yang di perlukan untuk kembali pada *set point (recovery time)* adalah sebesar 171 *milisecond*

Berdasarkan data yang didapatkan pada pengujian SEPIC *converter* pada hari pertama, maka diketahui bahwa Vin dari SEPIC *converter* (tegangan dari panel surya) mengalami drop tegangan rata-rata menjadi sekitar 32 Volt. Arus *charging* rata-rata pada hari pertama yaitu 2,2 Ampere. Dan untuk besarnya arus *charging* tertinggi yaitu pada jam 09.00 WIB dengan radiasi pada jam tersebut yaitu sebesar 873 Watt/m² dan arus *charging* sebesar 2,58 Ampere Tegangan *charging* yang dihasilkan oleh SEPIC *converter* akan terus menerus naik dari awal pengujian dengan tegangan *charging* yaitu sebesar 50,03 Volt. Semakin baterai penuh maka Tegangan output converter akan semakin mendekati setpoint yaitu 55 Volt. Untuk tegangan baterai yang dihasilkan pada saat kondisi baterai kosong yaitu 46,3. Tegangan baterai berbanding terbalik dengan arus yang dibutuhkan untuk melakukan pengisian baterai dan berbanding lurus dengan waktu pengisian baterai. Pada hari kedua saat melakukan pengisian baterai tegangan rata-rata baterai adalah 49,14 Volt. Lama waktu yang dibutuhkan untuk proses pengisian baterai adalah 8.75 jam

Summary

SEPIC Design Converter for Solar Panels with MPPT Incremental Conductance as Electric Bike Batteries Charging; Mohamad Arif Baihaqi, 151910201028; 2019; 110 pages; Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Today's air pollution is increasingly showing very alarming conditions. The causes include motorized vehicles. This vehicle can be a solution to replace motorbikes using fuel oil. Currently electric bicycles when charging batteries are still dependent on electricity sourced from PLN. This battery will be used to drive the DC / BLDC motor used to drive an electric bicycle. Based on the projection of the electricity needs of the Indonesian population until 2024, it will reach 50,000 MW. There are so many alternative energy potentials that can be developed in Indonesia, including solar energy. In order to convert solar energy into electrical energy, a solar panel is needed. The DC electrical energy from this solar panel will be used to charge electricity-only batteries so that they will no longer rely on electricity from the PLN.

Solar cells are devices that are used to convert solar energy into electrical energy. Load and weather variations determine the output power of the solar cell. To overcome this, it can be done by adding a SEPIC type DC / DC converter with MPPT InC (algorithm Incremental Conductance) so that solar cells can produce maximum power.

In this study, solar cells with series configurations are used with output voltages ranging from 31-39 Volt. The second configuration of the solar cell uses 100 Wp. The battery of an electric bicycle used is with a capacity of 48 Volt 12 Ah, where the battery is composed of 4 12 Volt batteries which are arranged in series. Because the battery voltage is greater than the solar cell voltage, so the voltage per unit is raised with a 55 Volt set point with SEPIC Converter.

The SEPIC converter can be used as a voltage booster or voltage drop. Duty Cycle above 50% acts as a voltage booster and below 50% acts as a voltage

drop. At the time of testing using 330 Ohm load. The maximum voltage released is 125 Volts. At an 80% duty cycle. Whereas for the smallest voltage is 4.6 Volt at 10% duty cycle. Duty cycle. Sepic converters have efficiency above 90% above the 50% duty cycle. The highest efficiency is obtained at a 65% duty cycle. The output power is 11.86 Watts while the input power is 11.966 Watts.

To get maximum power when charging the battery, the MPPT InC method is used. In the converter testing using methods and methods, resistive loads are 50 Ohm, 100 Ohm, 220 Ohm, and 330 Ohm. For the first test, using a resistive load of 50 Ω , where it is known that when testing the open loop when loading the voltage will continue to experience a voltage drop, and will be different when using the MPPT INC control method, then when a load is carried out a voltage drop will occur which will then return to the set point by adding the PWM to change the duty cycle of the SEPIC converter. When testing using MPPT INC controls it is known that the voltage drop before returning to the set point is 9 Volt. For the time needed to return to the set point (recovery time) of 171 milliseconds.

Based on data obtained from the SEPIC testing converter on the first day, it is known that V_{in} from the SEPIC converter (voltage from the solar panel) experiences an average voltage drop to around 32 Volt. The current charging on the first day is 2.2 Ampere. And for current magnitude charging the highest at 09.00 pm with the radiation at the clock that is equal to 873 Watt / m² and the current charging of 2.58 ampere voltage charging generated by the SEPIC converter will continue to increase from the beginning of the test with a voltage charging that is equal to 50.03 Volt. The more full the battery the converter output voltage will be closer to the setpoint of 55 volts. For the battery voltage produced when the battery condition is empty, namely 46.3. Battery voltage is inversely proportional to the current needed to charge the battery and is directly proportional to the battery charging time. On the second day when charging the battery the average voltage is 49.14 Volt. The time needed to process the battery is 8.75 hours.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Pada Tegangan *Output Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis Arduino UNO R3”. 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 berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dan memberikan saran dengan sangat sabar demi kesempurnaan skripsi ini;
2. Bapak R. B. Moch Gozali, S.T., M.T, selaku Dosen Penguji I, Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Penguji II yang telah bersedia menguji dan memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Kedua orangtua, Ibu Ulfatuzzuhroh, Bapak M. Efendi yang tidak pernah lelah memberikan segalanya. Doa, dukungan moril maupun materiil serta kasih sayangnya yang tak pernah terhenti.
4. Keluarga besar UKM Robotika Teknik Fakultas Teknik yang telah memberikan banyak sekali ilmu dan pengalaman berharga.
5. Kawan-kawan ngelab yang menemani penelitian setiap malam hingga larut pagi
6. Jamaah brutaliyah yang suka menghibur dengan segala candaannya yang tidak biasa
7. Keluarga besar DISTORSI Teknik Elektro angkatan 15 yang telah menemani perjalanan hidup di Jember.
8. Almamater Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya;

Jember, Mei 2019

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terkait	4
2.2 Gambaran Umum Sepeda Listrik.....	5
2.3 Panel Surya	9
2.3.1 Prinsip Kerja Sel Surya.....	9
2.4 Sensor Tegangan.....	11
2.5 Sensor Arus ACS712	11
2.6 Arduino UNO	12
2.7 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	14
2.8 RTC (<i>Real Time Clock</i>).....	15
2.9 Baterai Level Indikator	16
2.10 Data Logger.....	16
2.11 SEPIC Converter.....	17
2.11.1 Prinsip Kerja SEPIC Converter.....	18
2.11.2 Parameter Perancangan SEPIC Converter.....	20

2.12 <i>Maximum Power Point Tracker (MPPT)</i>	23
2.13 <i>Incremental Conductance (InC)</i>	25
2.14 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	27
BAB 3. METODE PENELITIAN	28
3.1 Metode Penelitian	28
3.2 Rancangan Penelitian	28
3.2.1 Jenis Penelitian	28
3.2.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.2.3 Alat dan Bahan	29
3.3 Jenis dan Sumber Data	30
3.3.1 Pengumpulan Data.....	30
3.3.2 Kerangka Pemecahan Masalah.....	30
3.3.3 Blog Diagram Sistem.....	33
3.4 Perancangan Komponen Pengendali (<i>Hardware</i>)	34
3.4.1 Rangkaian <i>Solar Cell</i>	34
3.4.2 Sensor Tegangan.....	35
3.4.3 Arduino UNO R3.....	36
3.4.4 Perancangan SEPIC Converter.....	37
3.4.5 Kontrol MPPT InC (<i>Incremental Conductance</i>)	43
3.4.6 Baterai <i>Lead Acid</i>	45
3.4.4 Baterai Level Indikator	48
3.5 Perancangan Mekanik Alat dan Keseluruhan Sistem	51
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 Pengujian Karakteristik <i>Solar Cell</i>	52
4.2 Pengujian Sensor Tegangan	54
4.3 Pengujian Sensor Arus	59
4.4 Pengujian PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	61
4.5 Implementasi dan Pengujian SEPIC Converter	64
4.5.1 Pengujian <i>Duty Cycle</i> SEPIC Converter.....	67
4.5.2 Pengujian Efisiensi SEPIC Converter.....	69

4.6 Pengujian SEPIC Converter dengan Kontrol MPPT InC	71
4.6.1 Pengujian SEPIC <i>Converter</i> Tanpa Beban	71
4.6.2 Pengujian SEPIC <i>Converter</i> dengan Beban Resistif	72
4.7 Pengujian Sepic <i>Converter</i> Menggunakan Beban Baterai Sepeda Listrik.....	79
4.8 Indikator Level Baterai	82
BAB 5. PENUTUP	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Spesifikasi Arduino UNO-R3	13
3.1 Rencana Kegiatan Penelitian.....	28
3.2 <i>Datasheet solar cell jenis polycrystalline</i> 100 Wp.....	34
3.3 Parameter DC/DC SEPIC Converter.....	37
3.4 Parameter perancangan SEPIC Converter.....	42
3.5 Spesifikasi Baterai Chilwee 6-DZM-12.....	46
4.1 Data Hasil Pengujian Karakteristik <i>Solar Cell</i>	53
4.2 Data Hasil Pengujian Sensor Tegangan pada <i>Vin SEPIC Converter</i>	55
4.3 Data Hasil Pengujian Sensor Tegangan pada <i>Vout SEPIC Converter</i>	57
4.4 Data Hasil Pengujian Sensor Arus SEPIC Converter.....	59
4.5 Pengujian Pengujian Gelombang <i>Pulse Width Modulation</i>	61
4.6 Komponen Perancangan SEPIC Converter	64
4.7 Hasil Pengujian <i>Duty Cycle SEPIC Converter</i>	67
4.8 Efisiensi pada SEPIC Converter dengan <i>Dummy Load 330 Ω</i>	69
4.9 Hasil Pengujian SEPIC Converter dengan Pemberian Beban Resistif.....	73
4.10 Pengisian Baterai Sepeda Listrik	76

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Motor BLDC	6
2.2 Kontrol Motor BLDC	6
2.3 <i>Battery</i> atau <i>Accu</i>	7
2.4 <i>Solar Cell</i>	9
2.5 Skema efek <i>Photovoltaic</i>	10
2.6 Sensor Tegangan DCT-Elektronik	11
2.7 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712	12
2.8 Modul Kontroler Arduino UNO-R3	13
2.9 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	14
2.10 Modul <i>Real Time Clock</i> (RTC) DS1307.....	15
2.11 Baterai Level Indikator	16
2.12 SD Card Modul.....	16
2.13 Rangkaian SEPIC	18
2.14 MOSFET SEPIC <i>Converter ON</i>	19
2.15 MOSFET <i>SEPIC Converter OFF</i>	19
2.16 Sinyal Switching MOSFET SEPIC <i>Converter</i>	20
2.17 Rangkaian ekuivalen <i>Solar Cell</i>	23
2.18 Karakteristik <i>Output Solar Cell</i>	24
2.19 Grafik <i>incremental conductance</i> (Lokanadham & Bhaskar, 2012).....	26
2.20 Kerja PWM (Irwin, 2002)	27
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	31
3.2 Blok Diagram Sistem.....	33
3.3 Rangkaian Modul <i>Solar Cell</i> Untuk <i>Input Converter</i>	35
3.4 Skematik Sensor Tegangan	35
3.5 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan	36
3.6 Desain SEPIC <i>Converter</i>	37
3.7 Flowchart Algoritma MPPT InC (<i>Incremental Conductance</i>).....	43

3.8	Baterai Chilwee 6-DZM-12	46
3.9	Rangkaian Baterai Sepeda Listrik	47
3.10	Rangkaian Baterai Level Indikator	48
3.11	Flowchart Baterai Level Indikator.....	49
3.12	Desain Baterai Level Indiktor	50
3.13	Desain Alat 3D. Gambar (a) Merupakan desain tampak belakang, dan (b) Tampak depan	51
4.1	Grafik Daya Maksimum <i>Solar Cell</i>	54
4.2	GrafikPerbandinganPembacaan Sensor Tegangan dan Digital Multimeter pada <i>Vin SEPIC Converter</i>	56
4.3	GrafikPerbandinganPembacaan Sensor Tegangan dan Digital Multimeter pada <i>Vout SEPIC Converter</i>	58
4.4	Sensor Tegangan <i>Input</i> dan <i>Output</i> pada <i>SEPIC Converter</i>	58
4.5	Grafik Perbandingan Sensor ACS712 dan Digital Multimeter	60
4.6	(a). Skematik rangkaian driver MOSFET. (b). Layout PCB Driver MOSFET	64
4.7	Perancangan Diver Mosfet	64
4.8	<i>Schematic SEPIC converter</i>	66
4.9	Layout PCB (a). Tampak bawah (b). Tampak Atas	66
4.10	Percangan <i>SEPIC converter</i>	78
4.11	Grafik Perbandingan <i>duty cycle</i> terhadap Tegangan Keluaran (<i>Vout</i>) <i>SEPIC converter</i>	69
4.12	Grafik Perbandingan Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output SEPIC converter</i>	71
4.13	Grafik Tegangan <i>Output</i> Saat Tanpa Beban	72
4.14	Grafik Pengujian Pemberian Beban 50Ω.....	73
4.15	Grafik Pengujian Pemberian Beban 100 Ω	74
4.16	Grafik Pengujian Pemberian Beban 220 Ω	75
4.17	Grafik Pengujian Pemberian Beban 330 Ω	75
4.18	Garfik Tegangan <i>Input Converter</i> dari <i>Solar Cell</i>	78
4.19	Grafik Arus <i>Output Converter</i> pada Saat Pengisian Baterai.....	79
4.20	Grafik Tegangan <i>Output Converter</i> saat pengisian Baterai	80

4.21	Grafik Tegangan Baterai saat Pengisian	80
4.22	Rangkaian indikator level baterai	82



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Listing Program Arduino Uno R3	87
A1. Listing Program Converter	87
A1. Listing Program Converter	93
B. Lampiran Gambar	102
B.1 Gambar Pengujian Karakteristik <i>Solar Cell</i>	102
B.2 Gambar pengujian konverter menggunakan beban Resistor	103
B.3 Gambar SEPIC Converter.....	103
B.4 Gambar Pengujian konverter dengan beban baterai	104
B.5 Gambar indikator level baterai	105

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pencemaran udara dewasa ini semakin menampakkan kondisi yang sangat memprihatinkan. Saat ini Indonesia memiliki indeks pencemaran udara 98,06 partikel per meter kubik yang menempati peringkat ke empat tingkat pencemaran udara di dunia (Numbeo, 2013). Angka tersebut mengalami kenaikan dari tahun 2011, yaitu 60,25 partikel per meter kubik (Djajadilaga, 2012). Pencemaran udara dan kebisingan akibat kegiatan industri dan transportasi meningkat 2 kali pada tahun 2000 dari kondisi tahun 1990 dan diperkirakan akan meningkat 10 kali pada tahun 2020 (Departemen Kesehatan, 2013).

Kualitas udara telah mengalami perubahan, contohnya yaitu pencemaran udara, akibat dari meningkatnya jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya. Menurut badan pusat statistik diketahui bahwa jumlah total kendaraan bermotor yang beredar pada tahun 2014 yaitu sebesar 114.209.266 unit kendaraan yang terdiri dari 12.599.138 unit kendaraan jenis mobil penumpang, 2.398.846 unit kendaraan jenis mobil bis, 6.235.136 unit kendaraan jenis mobil barang, dan 92.976.240 unit kendaraan jenis sepeda motor dan jumlah ini akan meningkat terus menerus setiap tahunnya. Sehingga, semakin banyak jumlah kendaraan bermotor yang beredar maka akan mengakibatkan semakin menurunnya mutu atau kualitas dari udara pada lingkungan tersebut. Karena pada suatu kendaraan bermotor akan menghasilkan emisi gas buang dari hasil pembakaran bahan bakar untuk sebuah mesin kendaraan bermotor. Dan berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) tahun 2010 menyebutkan polusi udara dari kendaraan bermotor bensin menyumbang 70% karbon monoksida (CO), 100% Plumbum (Pb), 60% hidro karbon (HC) dan 60% oksida nitrogen (NOX).

Agar emisi gas buang dari kendaraan bermotor dapat berkurang, perlu adanya inovasi kendaraan dengan tenaga listrik yang baru baru ini mulai dikembangkan. Diantaranya adalah sepeda listrik. Kendaraan ini dapat menjadi solusi untuk menggantikan sepeda motor dengan menggunakan bahan bakar minyak dan memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu tidak membutuhkan banyak tenaga seperti sepedadengan tenaga manusia, tidak mengeluarkan emisi

gas buang seperti kendaraan dengan bahan bakar minyak serta ramah lingkungan karena tidak mengeluarkan kebisingan saat beroperasi.

Saat ini sepeda listrik ketika melakukan pengisian baterai masih bergantung pada listrik yang bersumber dari PLN. Baterai ini yang akan digunakan untuk menggerakkan motor DC/BLDC yang digunakan untuk menggerakkan sepeda listrik. Berdasarkan proyeksi kebutuhan listrik penduduk Indonesia hingga tahun 2024 nanti yakni mencapai 50.000 MW, namun hingga saat ini kebutuhan tersebut masih belum mencukupi sesuai proyeksi yang ada (kominfo.go.id, 2016). Namun melihat kondisi pada tahun 2015 yang masih sekitar 84 % rasio elektrifikasi, serta akan sangat mungkin nilai tersebut akan meningkat seiring bertambahnya penduduk maka Indonesia perlu digencarkan pembangunan khususnya energi baru dan terbarukan (EBT) yang lebih ramah lingkungan. Sehingga diharapkan rasio elektrifikasi dapat meningkat hingga keseluruhan daerah di Indonesia bisa teralisi listrik.

Banyak sekali potensi energi alternatif yang dapat dikembangkan di Indonesia, diantaranya adalah energi surya. Agar dapat merubah energi surya menjadi energi listrik, dibutuhkan sebuah panel surya. Energi listrik DC dari panel surya ini yang akan digunakan untuk melakukan charging pada baterai sepeda listrik agar tidak bergantung lagi pada sumber listrik dari PLN. Variasi beban dan cuaca sangat menentukan daya keluaran dari solar cell. Untuk menanggulangi hal tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan konverter DC/DC tipe SEPIC dengan algoritma MPPT InC (*Incremental Conductance*) agar *solar cell* dapat menghasilkan daya yang lebih maksimal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah yang dibuat dalam melakukan penelitian diantaranya yaitu :

1. Bagaimana perancangan SEPIC *converter* untuk pengisian baterai pada sepeda listrik menggunakan panel surya.
2. Bagaimana pengaturan kestabilan tegangan keluaran dari SEPIC *converter* untuk charger baterai dengan metode MPPT InC.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO R3.
2. Tidak membahas tentang suhu, kelembaban serta kemiringan panel surya.
3. Analisa di titik beratkan pada tegangan yang di hasilkan pada solar cell dan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh SEPIC *converter*.
4. Pengujian SEPIC *converter* dilakukan dengan menggunakan resistor kapur.
5. Tidak membahas tentang ergonomis dari sepeda listrik.
6. Baterai yang digunakan yaitu baterai dengan kapasitas baterai 48 Volt

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian yang akan dilakukan ini memiliki beberapa tujuan sebagai pencapaian akhir diantaranya yaitu :

1. Membuat rancang bangun SEPIC *converter* untuk pengisian baterai pada sepeda listrik menggunakan panel surya.
2. Mengatur kestabilan tegangan keluaran dari SEPIC *converter* agar sesuai dengan tegangan yang di butuhkan untuk charging baterai sepeda listrik (57 Volt) dengan metode MPPT InC.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapaun manfaat yang didapatkan dari hasil penelitian tentang system stasiun pengisian baterai pada sepeda listrik menggunakan *solar cell* diantaranya yaitu :

1. Membuat inovasi terbaru dengan memanfaatkan energi surya untuk proses pengisian baterai.
2. Memanfaatkan sumber energi matahari yang melimpah, sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada tinjauan pustaka ini akan diuraikan tentang beberapa dasar teori yang akan digunakan untuk memecahkan masalah pada penelitian ini yang digunakan sebagai acuan pada saat melakukan pengujian serta pengambilan data. Serta dijelaskan bagaimana karakteristik komponen-komponen sehingga dapat digunakan pada saat melakukan penelitian. Berdasarkan hal-hal tersebut maka dapat dijelaskan dengan bahasan dibawah ini, yaitu antara lain :

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mochammad Al Aziz pada tahun 2018 dengan judul “Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Untuk Tegangan Keluaran *Boost Converter* Pada Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan *Solar Cell*”. Pada penelitian ini digunakan converter DC/DC jenis Boost untuk menstabilkan daya keluaran pada panel surya dengan menggunakan kontrol fuzzy logic, namun pada penelitian ini proses *charging* baterai sepeda listrik membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 3 hari.

Selain itu juga pengembangan penelitian dari M. Choirul Anwar pada tahun 2017 dengan judul “Implementasi DC/DC Tipe SEPIC Pada Generator Termoelektrik Menggunakan Kontrol MPPT *Incremental Conductance*”. Yang mana pada penelitian ini termoelektrik generator digunakan untuk mengisi baterai VRLA 5v. Untuk memaksimalkan daya keluaran dari termoelektrik generator ditambahkan konverter jenis SEPIC dengan kontrol MPPT *Incremental Conductance*. Penelitian ini menghasilkan konverter yang memiliki ripple arus yang kecil dan efisiensi cukup tinggi.

Dari kedua penelitian tersebut akan dilakukan pengembangan yaitu “Rancang Bangun SEPIC *Converter* dengan Metode MPPT *Incremental Conductance* Untuk Pengisian Baterai Sepeda Listrik Berbasis *Solar Cell*”. Diharapkan pada penelitian ini memperoleh hasil daya keluaran *convverter* yang maksimal dan *ripple* arus menjadi lebih kecil sehingga efisiensi konverter menjadi

lebih tinggi, keluaran konverter tidak bersifat *inverting*, karena rangkaian SEPIC merupakan pengembangan dari rangkaian *buck-boost converter* agar *output converter* tidak bersifat *inverting*. Serta dapat mempercepat proses *charging* pada baterai sepeda listrik dari penelitian sebelumnya.

2.2 Gambaran Umum Sepeda listrik

Sepeda listrik adalah pengembangan teknologi dari sepeda konvensional dengan tenaga manusia yang dapat bergerak ketika mendapat gaya mekanik dari pedal yang dikayuh. Sepeda listrik merupakan kendaraan yang tidak menggunakan bahan bakar minyak. Pada umumnya sepeda listrik menggunakan motor BLDC sebagai aktuator untuk memutar roda. Motor BLDC dapat berputar ketika diberikan energi listrik sesuai daya yang dibutuhkan, biasanya memerlukan tegangan 48 V dengan arus kurang lebih 1A.

Pada saat energi listrik yang disimpan pada baterai telah habis, perlu dilakukan pengisian dari sumber PLN. Sepeda listrik memiliki sistem *Hybrid* yaitu dengan tenaga konvensional, ketika baterai telah habis, sepeda listrik tetap bisa digunakan dengan mengayuh pedal seperti sepeda pada umumnya.

Pada sepeda listrik terdapat beberapa bagian yang penting yang saling berhubungan antara peralatan satu dengan peralatan yang lain diantaranya yaitu :

1. Motor BLDC

Secara umum, motor BLDC dianggap motor performa tinggi yang mampu memberikan torsi pada rentang kecepatan yang luas. Secara performa BLDC motor dapat menghasilkan torsi maksimal pada RPM yang rendah dan secara bertahap akan menurun seiring meningkatnya RPM motor (nainggolan : 2016). Gambar 2.1 merupakan contoh motor BLDC yang sering digunakan pada kendaraan listrik.



Gambar 2.1. motor BLDC

(Sumber:www.bogipower.com)

2. Kontrol motor BLDC

Controller pada motor DC brushless berperan sangat penting dapat dikatakan sebagai penunjang utama operasi motor DC *brushless* karena motor DC *brushless* membutuhkan suatu trigger pulsa yang masuk ke bagian elektromagnetik (stator) motor DC *brushless* untuk memberikan pengaturan besarnya arus yang mengalir sehingga putaran motor dapat diatur secara akurat (Nainggolan:2016).

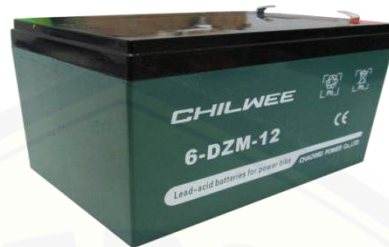


Gambar 2.2. Kontrol motor BLDC

3. Baterai

Baterai atau aki adalah sebuah sel listrik yang di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversibel* (dapat berbalikan) dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Definisi lain dari baterai adalah alat untuk menyimpan tenaga listrik melalui proses elektrokimia sehingga sumber tenaga listrik dapat diubah menjadi tenaga kimia dan sebaliknya. Proses elektrokimia *reversibel*, adalah proses yang terjadi di dalam baterai akibat dari perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi

tenaga kimia, pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel.



Gambar 2.3. *Battery* atau *Accu*

Beberapa proses yang terjadi pada baterai diantaranya yaitu :

a. *Charging* Baterai Aki

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: *constant-current charge*, *topping charge* dan *float charge*. Selama *constant-current charge*, baterai diisi sampai 70 persen dalam waktu 5 jam; sisanya 30 persen adalah pengisian pelan-pelan dalam *topping charge*. *Topping charge* butuh sekitar 5 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 *fullcharge* dan kinerja baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, kompensasi *self-discharge* setelah baterai terisi penuh.

Baterai aki, terdiri dari beberapa sel. Baterai aki 12 Volt, terdiri dari 6 sel. Batas tegangan satu sel umumnya mulai dari 2.30V sampai 2.45V. Jadi baterai aki 12 Volt, tegangan sebenarnya adalah antara 13.8 V - 14.7 Volt. Kondisi baterai aki tergantung dari suhu. Suhu tinggi menyebabkan baterai cepat rusak. Pada saat *charging* baterai pada suhu ruangan melebihi 30 derajat celcius, tegangan yang direkomendasikan adalah 2.35V/sel. Pada saat

charging, dan suhu ruangan tetap dibawah 30 derajat Celcius, tegangan *charger* untuk masing-masing sel disarankan 2.40 sampai 2.45Volt.

Tegangan *float charge* yang direkomendasikan dari kebanyakan baterai aki lead acid adalah di antara 2.25 sampai 2.30V/sel. Kompromi yang baik adalah 2.27V. *Float charge* yang optimal bergeser tergantung dari suhu. Pada suhu tinggi dibutuhkan tegangan lebih kecil dan suhu lebih rendah dibutuhkan tegangan lebih tinggi. *Charger* dengan suhu yang fluktuatif harus dilengkapi dengan sensor suhu untuk mengoptimalkan *float voltage*.

Baterai aki memerlukan periodik *discharge*, untuk memperpanjang umur baterai.

Penerapan sekali dalam sebulan, dimana discharge dilakukan hanya berkisar 10 persen dari total kapasitas. *Full discharge* sebagai bagian dari pemeliharaan rutin tidak direkomendasikan karena akan mengurangi siklus hidup baterai. Baterai aki memiliki tegangan puncak bervariasi pada suhu yang bervariasi saat pengisian ulang dan *float charge*. Menerapkan kompensasi suhu pada *charger* untuk menyesuaikan suhu ekstrim memperpanjang umur baterai hingga 15 persen. Ini benar jika dijalankan pada suhu tinggi.

b. *Discharging* Baterai Aki

Kapasitas baterai sebesar 100 Ampere hour, artinya arus baterai akan habis dalam satu jam, bila beban menggunakan 100 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).

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. Pada suhu 25 derajat Celcius:

- 150 - 200 *cycle* dengan 100 persen *depth of discharge* (*full discharge*).
- 400 - 500 *cycle* dengan 50 persen *depth of discharge* (*partial discharge*).
- 1000 atau lebih dengan 30 persen *depth of discharge* (*shallow discharge*).

2.3 Panel Surya

Sel surya merupakan sebuah piranti yang digunakan untuk mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Yang mana pada sel surya bekerja berdasarkan prinsip kerja dari sebuah semikonduktor *p-n junction*, karena pada sel surya menggunakan sebuah silikon sebagai bahan utama dalam penyusunnya. Pada sel surya terdiri dari lapisan semikonduktor, yaitu semikonduktor *doping-n* dan *doping-p* yang membentuk *p-n junction*, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari semikonduktor tipe-n (elektron) dan tipe-p (*hole*). Konversi energi listrik yang dihasilkan berdasarkan irradiansi cahaya pada suatu sel semikonduktor yang diketahui sebagai efek *photovoltaic*. Saat cahaya mengenai semikonduktor, *energy* foton yang lebih besar dari energi *band gap*-nya akan mematahkan ikatan electron valensi, sehingga pasangan *electron-hole* akan tergenerasi. Sehingga pasangan *electron-hole* akan menimbulkan medan listrik. (Rianti : 2010)



Gambar 2.4. Solar Cell
(Sumber: google.com)

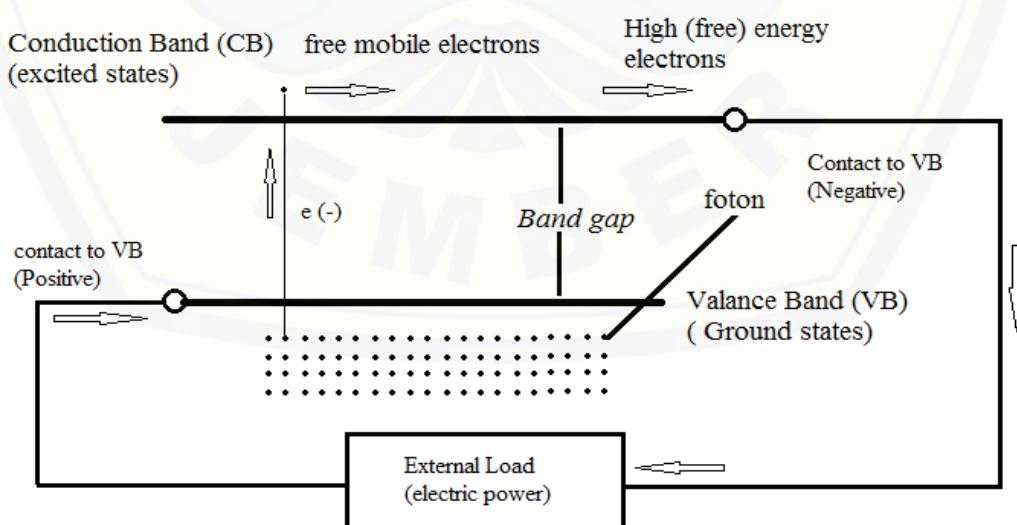
2.3.1 Prinsip kerja Sel Surya

Sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor memiliki *electron* yang terikat dengan lemah pada suatu pita energy yang disebut pita valensi, dan saat terdapat *energy* yang lebih besar dari batas *threshold (band gap energy)* yang diberikan pada *electron* di pita valensi tersebut, maka ikatan elektrik tersebut akan putus. Kemudian *electron* tersebut bergerak bebas pada suatu pita *energy* baru

yang disebut dengan pita konduksi. Sehingga elektron bebas pada pita konduksi dapat menghasilkan listrik. Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron ini didapatkan dari foton yang merupakan bagian partikel dari cahaya.

Pada saat semikonduktor yang berada pada sel surya terkena sinar matahari yang membawa partikel-partikel foton menabrak sel surya yang didalamnya terdapat semikonduktor P-N Junction. Maka ketika energi foton tersebut cukup maka elektron akan didorong keluar dari pita valensi (VB) yang kemudian akan melewati pita pemisah (*bandgap*) hingga menuju pita konduksi (CB). Kemudian suatu *selective contact* akan mengumpulkan elektron-elektron pada pita konduksi dan akan menggerakkan elektron-elektron tersebut. Sehingga pergerakan dari elektron inilah yang membuat terciptanya arus listrik akibat adanya perbedaan potensial. Energi dari arus listrik digunakan untuk mengerjakan berbagai hal sebelum kembali menuju pita valensi melalui *selective contact* yang kedua.

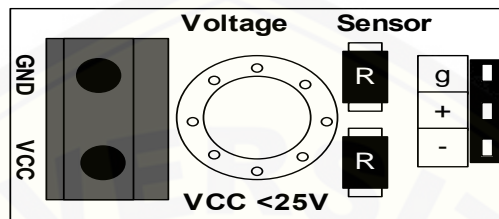
Dikarenakan terjadinya suatu “*doping*” pada sel surya maka sebuah sel surya dianggap sebagai suatu *pn junction*. *Doping* ini menyebabkan salah satu dari bagian *pn junction* menjadi sisi p, karena terapat banyak muatan positif dan sedangkan bagian yang lain menjadi muatan negatif karena memiliki muatan negatif yang banyak.



Gambar 2.5 Skema efek *Photovoltaic*
(Hegedus & Luque : 2003)

2.4 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah modul pembagi tegangan yang digunakan untuk mengubah tegangan yang akan diukur untuk dapat diumpungkan ke pin kontroler yang sudah memiliki konverter analog ke digital (ADC).

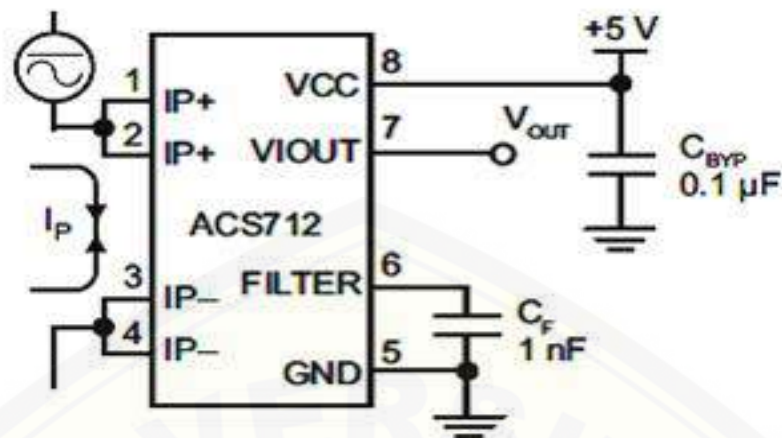


Gambar 2.6 Sensor Tegangan DCT-Elektronik

Gambar (a) adalah modul sensor pembagi tegangan, sedangkan Gambar (b) adalah diagram skematik dari sensor tersebut. Kaki VCC dan GND adalah kaki-kaki untuk menempatkan terminal tegangan yang akan diukur sedangkan pin g, + dan - adalah pin untuk dihubungkan dengan kaki ADC kontroler (Autodesk.Inc,2015).

2.5 Sensor Arus ACS 712

ACS712 adalah sebuah modul sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ACS712 dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor arus ACS712 telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas untuk pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang relatif kecil. Sensor jenis ini juga sering digunakan pada aplikasi-aplikasi di bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya.



Gambar 2.7 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712

2.6 Arduino UNO

Arduino Uno adalah modul mikrokontroler berbasis ATmega 328. Modul ini memiliki empat belas pin *input-output* (14 I/O) di mana enam diantaranya dapat digunakan sebagai *output pulse width modulation* (PWM), enam *input* analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, tombol *reset* dan koneksi ke catu daya. Kontroler ini semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler.

“Uno” berarti satu dalam bahasa Itali dan hal ini untuk menandai versi pertama (Arduino 1.0) yang akan menjadi versi acuan bagi Arduino berikutnya. Uno adalah seri terakhir dari seri papan atau modul USB Arduino. Uno tidak lagi menggunakan *chip* FTDI USB-to-serial tetapi menggunakan Atmega 8U2 sebagai konverter USB ke serial.

Masing-masing pin I/O dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* dengan menggunakan fungsipin *Mode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Masing-masing pin ini beroperasi pada tegangan 5 volt dan dapat menerima arus 40 mA serta sudah memiliki *pull-up* resistor 20-50 k Ω yang secara *default* tidak tersambung (*disconnected*).

Berikut ini adalah tabel spesifikasi dari Arduino Uno R3 dapat kita lihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO-R3

Mikrokontroler	Atmega 328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input	7-12 V
Tegangan Input (Batas)	6-20 V
I/O Digital	14 (dengan tersedia 6 buah PWM output)
PWM digital I/O	6 buah
Input Analog	6 buah
Arus DC per I/O pin	40 Ma
Arus DC untuk pin 3.3	50 Ma
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) Dengan 0.5 KB digunakan oleh Bootloader
SRAM	2 Kb (ATmega328p)
EEPROM	1 Kb (ATmega328p)
Kecepatan Clock	16 MHz

Diterjemahkan dari: (Arduino UNO 2017)

(Sumber: www.arduino.cc)

Gambar 2.8 menunjukkan board modul Arduino UNO-R3 yang merupakan penyederhanaan dari gambar modul aslinya (Arduino UNO 2015).

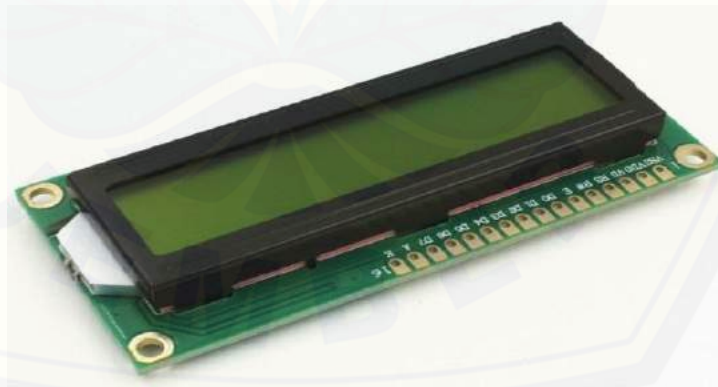


Gambar 2.8 Modul Kontroler Arduino UNO-R3

2.7 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Liquid Cristal Display adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit* LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik.

LCD terdiri atas beberapa lapisan diantaranya yaitu lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan seven-segment dan lapisan elektroda pada bagian kaca belakang. Pada saat elektroda diaktifkan dengan memberikan medan listrik (tegangan), maka molekul organik yang panjang dan silindris akan menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan sandwich memiliki polarizer cahaya vertikal depan dan polarizer cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.



Gambar 2.9 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Konfigurasi pin untuk LCD diantaranya yaitu :

- Pin data merupakan jalur untuk memberikan data karakter yang akan ditampilkan menggunakan LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dihubungkan

dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.

- Pin RS (*Register Select*) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika low menunjukkan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika high menunjukkan data.
- Pin R/W (*Read Write*) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika low tulis data, sedangkan high baca data.
- Pin E (*Enable*) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
- Pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5k ohm, jika tidak digunakan dihubungkan ke ground, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 Volt.

2.8 RTC

RTC (*Real time clock*) adalah sebuah chip jam elektronik yang digunakan untuk menghitung waktu (mulai dari detik hingga tahun) dengan akurat dan menjaga/menyimpan data waktu tersebut secara *real time*. Dikarenakan proses kerja dari jam tersebut bekerja *real time*, maka setelah proses penghitungan waktu dilakukan, maka *output* datanya langsung disimpan atau dikirim ke devais lain melalui sistem antarmuka.

Chip RTC lebih sering dijumpai pada motherboard PC (biasanya terletak dekat chip BIOS). Semua komputer menggunakan RTC karena berfungsi menyimpan informasi jam terkini dari komputer yang bersangkutan. RTC dilengkapi dengan baterai sebagai pensuplai daya pada chip, sehingga jam akan tetap *up-to-date* walaupun komputer dimatikan. RTC dinilai cukup akurat sebagai pewaktu (timer) karena menggunakan osilator kristal.



Gambar 2.10 Modul *Real Time Clock*(RTC) DS1307

2.9 Baterai Level Indikator

Baterai level indikator merupakan rangkaian elektronika yang digunakan untuk memonitor kapasitas baterai. Dengan menggunakan alat ini kita dapat mengetahui level baterai apakah kapasitasnya sudah penuh atau kosong dengan tampilan presentase antara 0-100 persen.



Gambar 2.11 Baterai Level Indikator

2.10 Data Logger

SD Card Shield atau SD Modul merupakan solusi untuk mengirim data ke *SDcard*. SD Modul dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 SD Card Modul

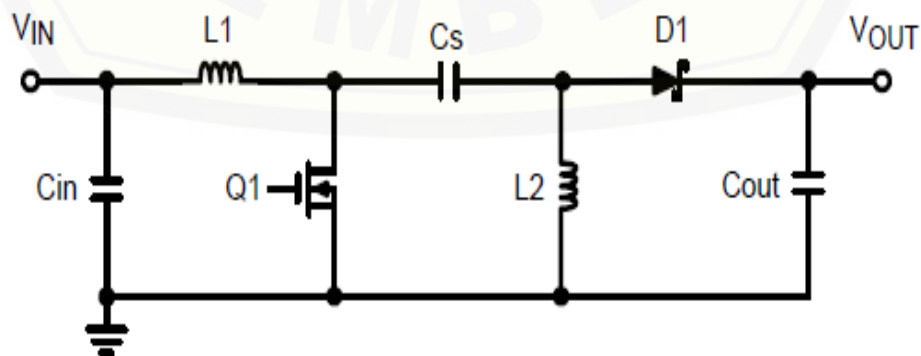
Pinout dari *SD Card Shield* dapat dihubungkan ke Arduino maupun mikrokontroler lainnya, sehingga bermanfaat untuk menambah kapasitas tempat penyimpanan data dan pencatatan data. *SD Card Shield* ini dapat langsung dipasang pada Arduino dan terdapat *switch* untuk memilih *flash card slot*. Keistimewaan dari SD Module ini adalah:

1. Terdapat modul untuk standar SD card dan Micro SD (TF) card.
2. Dapat dipasang langsung pada Arduino.
3. Dapat digunakan untuk mikrokontroler lain.

2.11 SEPIC Converter

SEPIC (*Single Ended Primary Inductor Converter*) merupakan konverter DC/DC yang dapat bertindak sebagai penaik tegangan atau penurun tegangan keluaran yang dihasilkan, seperti *buck-boost converter*. Output tegangan dari SEPIC dapat dikendalikan dengan switching pada MOSFET sesuai dengan *duty cycle* yang diinginkan. Pada *duty cycle* dibawah 50%, konverter ini bekerja sebagai penurun tegangan sedangkan pada *dutycycle* diatas 50% bekerja sebagai penaik tegangan. Konverter ini mempunyai keluaran *non-inverting* (polaritas tegangan masukan sama dengan polaritas tegangan keluaran) dan terdapat kapasitor yang dikopel sehingga arus ripple dapat diperkesil, serta tidak menghasilkan panas yang berlebih dari komponen ketika bekerja cukup berat. Ketika saklar dimatikan dapat mengikuti *dump transient* yang besar sehingga tegangan dapat turun menjadi 0V.

SEPIC dibuat atas dasar pengembangan konverter jenis sebelumnya, yakni *buck*, *boost*, *buck-boost*, dan CUK. Konverter topologi ini adalah perbaikan dari topologi konverter DC-DC tipe cuk. SEPIC converter merupakan *non-inverting dc-dc converter* dan dapat menghasilkan tegangan diatas maupun dibawah dari tegangan masukan. Masukan arus adalah *non-pulsating*, tetapi arus keluaran berupa *pulsating*. Nama SEPIC merupakan singkatan dari *single-ended primary inductance converter* (Eakburanawat & Boonyaroonate, 2010)



Gambar 2.13 Rangkaian SEPIC

Pada gambar 2.13 tersebut dapat kita ketahui bahwa komponen utama pada SEPIC *converter* yaitu (L1) dan induktor2 (L2) , kapasitor kopling (Cs), dioda (D), kapasitor *output* (Cout).

2.11.1 Prinsip Kerja SEPIC Converter

Prinsip kerja SEPIC *converter* sama seperti *buck-boost converter*, namun keluaran dari konverter ini bersifat *non inverting*, artinya polaritas dari tegangan *input* sama seperti polaritas tegangan *output* tidak seperti *buck-boost converter* yang bersifat *inverting*. Mode yang digunakan pada SEPIC *converter* yaitu mode CCM (*Continuous Conduction Mode*). Dalam mode ini arus induktor tidak pernah jatuh ke-nol dalam semua siklus pensaklaran. Ketika SEPIC bekerja pada kondisi *Steady State*, tegangan rata-rata di kapasitor Cs (VCs) sama dengan tegangan *input* (VIN). Karena kapasitor Cs memblok arus searah, arus rata-rata di atasnya (ICs) adalah nol, sehingga induktor L2 menjadi satu-satunya sumber arus beban. Oleh karena itu arus rata-rata melalui induktor L2 sama dengan arus beban rata-rata. Tegangan rata-rata dapat dituliskan dengan rumus:

$$V_{in} = V_{L1} + V_{Cs} + V_{L2} \dots\dots\dots(2.1)$$

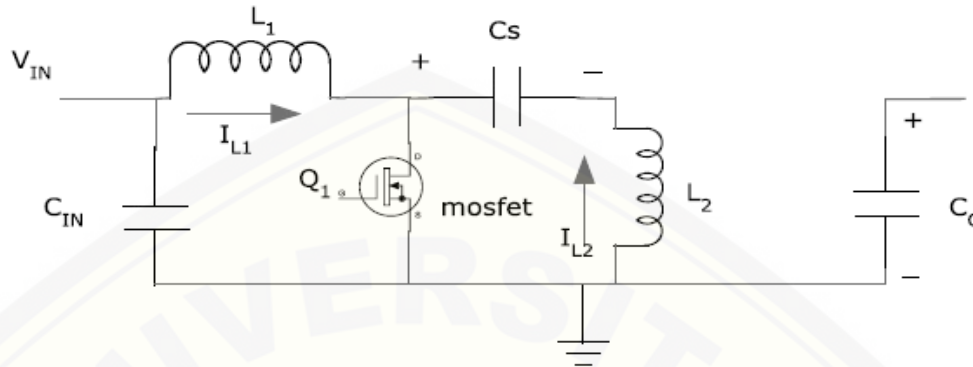
Karena tegangan rata-rata $V_{Cs} = V_{in}$, sehingga

$$V_{L1} = -V_{L2} \dots\dots\dots(2.2)$$

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

1. Ketika MOSFET *on* (tertutup). Ketika MOSFET dalam kondisi *on* arus IL1 meningkat sedangkan arus IL2 berkebalikan dengan IL1. Selama MOSFET kondisi *turn on* maka tidak ada arus yang melewatinya dan tegangan pada diode adalah negatif ketika MOSFET *turn off*, maka kapasitor coupling akan memulai *charge*, dan induktor mulai *discharge* ketika kapasitor mulai *charging* maka arus menuju kapasitor mulai turun dan ketika *discharge*, arus *charging* semakin meningkat. Jadi saat T_{on} , maka kapasitor kopling akan mulai *discharge* melalui induktor, dan arus di kapasitor meningkat, tetapi dengan arah sebaliknya, sehingga arusnya negatif. Selama T_{off} kapasitor mulai *charge* dan arus maju. Ketika MOSFET *turn on*, I1 akan mulai *charging* melalui Q sehingga arus

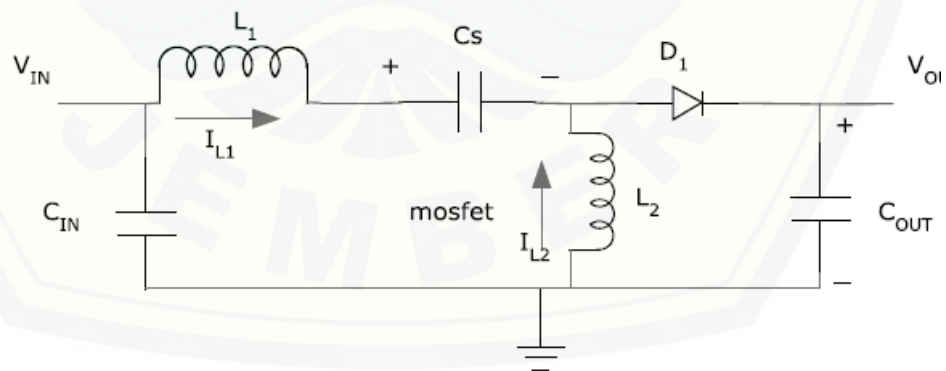
meningkat pada MOSFET dan L1 dan juga sebaliknya, saat MOSFET turn *off* maka L1 mulai menurun arus kedua induktor sama seperti kedua induktor, *charging* dan *discharging* secara terus menerus.



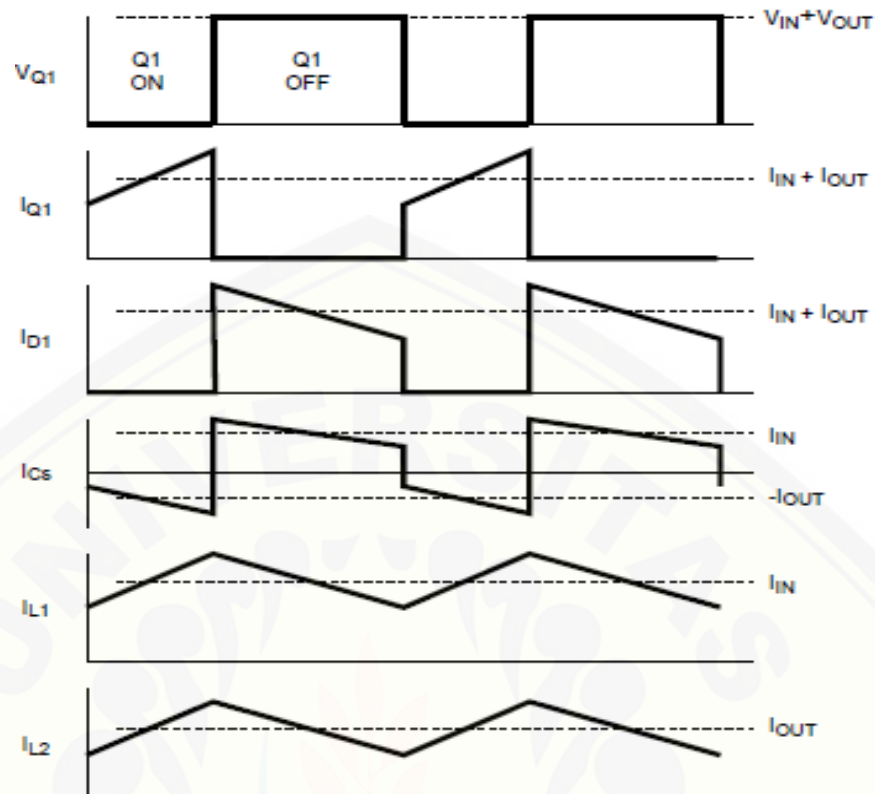
Gambar 2.14 MOSFET SEPIC Converter ON
(Ranjan & Kumar)

Ketika MOSFET off, pada kondisi ini arus pada kapasitor kopling bernilai sama dengan I_{L1} , induktor tidak akan mengubah nilai arus. Arus I_{L2} akan tetap kontinu ke arah negatif. Hal ini dapat dilihat dari diagram bahwa I_{L2} negatif akan ditambahkan ke I_{L1} saat ini untuk meningkatkan arus yang dikirimkan ke beban. Dengan Menggunakan Hukum Arus Kirchhoff

$$I_{D1} = I_{Cs} - I_{L2} \dots \dots \dots (2.3)$$



Gambar 2.15 MOSFET SEPIC Converter OFF



Gambar 6.16 Sinyal Switching MOSFET SEPIC Converter

2.11.2 Parameter perancangan SEPIC Converter

Untuk mendesain sebuah induktor, banyak parameter yang dibutuhkan agar perancangan menghasilkan hasil rancangan yang sesuai target. Pada perancangan SEPIC converter pada penelitian ini akan dilakukan berdasarkan acuan dari Texas Instruments Berikut langkah dalam mendesain SEPIC (Zhang, 2013):

a. Menentukan duty cycle

langkah selanjutnya yaitu menentukan besar duty cycle estimasi awal pada perancangan DC/DC

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} + V_{out} + V_D} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$D_{(max)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)} + V_{out} + V_D} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$D_{(min)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(max)} + V_{out} + V_D} \dots\dots\dots(2.6)$$

Persamaan diatas digunakan untuk menentukan besar *duty cycle* estimasi berdasarkan data spesifikasi DC/DC *converter* yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk *duty cycle* minimum didapatkan dengan *input* maksimum , dengan $V_D = 0.5 V$

b. Menentukan nilai Induktor

Setelah didapatkan besar *duty cycle* , maka langkah selanjutnya yaitu mencari nilai *ripple current* pada induktor dengan persamaan 2.7 dan persamaan 2.8.

$$\Delta I_L = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in(min)}} \times 40\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana ΔI_L merupakan arus *ripple* pada induktor. Kemudian menentukan besar nilai induktor berdasarkan *ripple current* dengan persamaan 6.8

$$L = L1 = L2 = \frac{V_{in} \times D_{max}}{\Delta I_L \times f} \dots\dots\dots(2.8)$$

Setelah mengetahui besar nilai induktor maka tahap selanjutnya yaitu menghitung jumlah lilitan yang dipakai dengan menggunakan persamaan

$$N = 100 \sqrt{\frac{Nilai L (uH)}{AL (\frac{uH}{100turn})}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Kemudian langkah selanjutnya yaitu menghitung *peak current* pada induktor dengan persamaan 6.9 dan 6.10 untuk induktor yang ke dua

$$IL1 (peak) = I_{out} \times \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)}} \times (1 + \frac{40\%}{2}) \dots\dots\dots(2.10)$$

$$IL2 (peak) = I_{out} \times (1 + \frac{40\%}{2}) \dots\dots\dots(2.11)$$

c. Menentukan MOSFET

Menggunakan parameter tegangan *threshold* sehingga didapat tegangan maksimal pada MOSFET adalah $V_{in} + V_{out}$. Sedangkan arus maksimal pada MOSFET dengan persamaan 2.12.

$$L1 (peak) + IL2 (peak) \dots\dots\dots(2.12)$$

Sedangkan arus RMS yang melewati MOSFET sesuai dengan persamaan 2.13

$$IQ1(rms) = \sqrt{\frac{V_{out} + V_{in(Min)} + V_D * (V_{out} + V_D)}{V^2_{in}}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Untuk daya disipasi pada MOSFET ditentukan dari persamaan 2.13

$$PQ1=IQ1^2 \times Rds (on) Dmaxx (Vin (Min)+Vout) xIQ1 (peak) \times(QGDxf)/Ig \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan Ig adalah arus *gate*, Rds adalah nilai operasi dari *datasheet*

d. Menentukan Kapasitor Input (Cin)

Setelah didapatkan nilai besar induktor dan MOSFET, maka langkah selanjutnya yaitu menentukan besar nilai kapasitor yang digunakan. Untuk menentukan nilai dari kapasitor input, yaitu dengan menggunakan persamaan

$$Icin (rms)= \Delta IL / \sqrt{12} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$Cin = \frac{Icin}{2 \times f} \dots\dots\dots(2.16)$$

e. Pemilihan kapasitor *coupling*

Arus RMS pada Cs

$$Ics (RMS) = Iout \times \sqrt{\frac{Vout+VD}{Vin(min)}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Sedangkan untuk menentukan *ripple* tegangan pada kapasitor Cs menggunakan persamaan 2.18

$$\Delta VC_s = \frac{Iout \times Dmax}{C_s \times f} \dots\dots\dots(2.18)$$

Sehingga diiperoleh nilai Cs

$$C_s = \frac{Ics \times Dmax}{\Delta VC_s \times f} \dots\dots\dots(2.19)$$

f.. Pemilihan nilai kapasitor *output*

Sebelum menentukan besar kapasitor *output* yang akan digunakan terlebih menentukan besar kapasitor yang digunakan dipakai persamaan ESR (*Equivalent Series Resistance*) yang terdapat pada persamaan

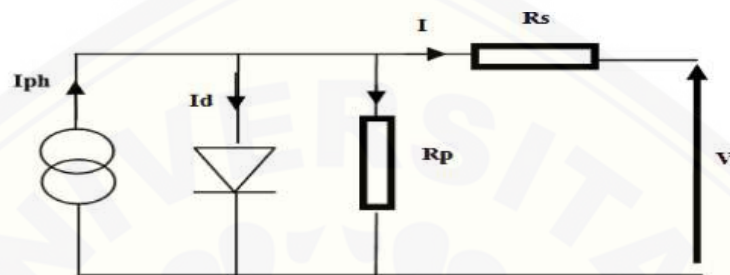
Vripple diasumsikan 2% dari tegangan *output*

$$ESR = \frac{Vrippple \times VD}{IL1(peak) \times IL2(peak)} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$Cout = \frac{Iout \times Dmax}{Vrippple \times f \times VD} \dots\dots\dots(2.21)$$

2.12 Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Sel fotovoltaik pada dasarnya adalah semikonduktor p-n dioda persimpangan yang mengubah energi matahari menjadi listrik. PV rangkaian ekivalen larik adalah komponen dioda D, arus sumber I_{ph} , resistansi seri R yang disebabkan oleh elektroda dan hambatan paralel R_p disebabkan oleh kebocoran persimpangan P-N arus. Rangkaian ekivalen ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Rangkaian ekivalen *Solar Cell*

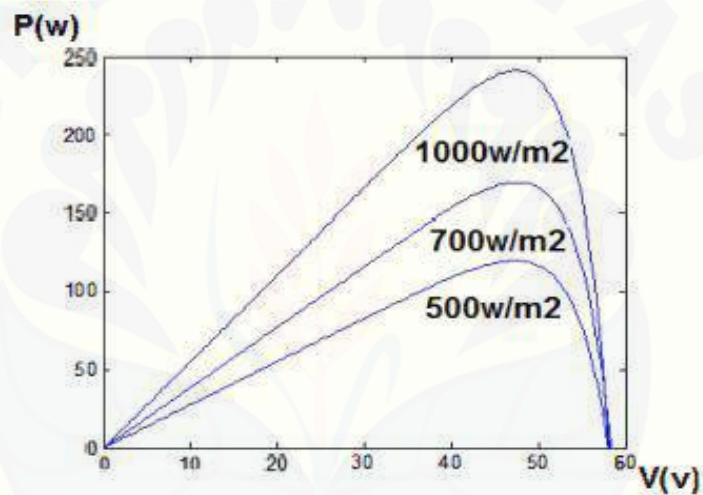
Persamaan dari karakteristik solar cell tersebut dapat dituliskan dengan:

$$I = I_s - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.22)$$

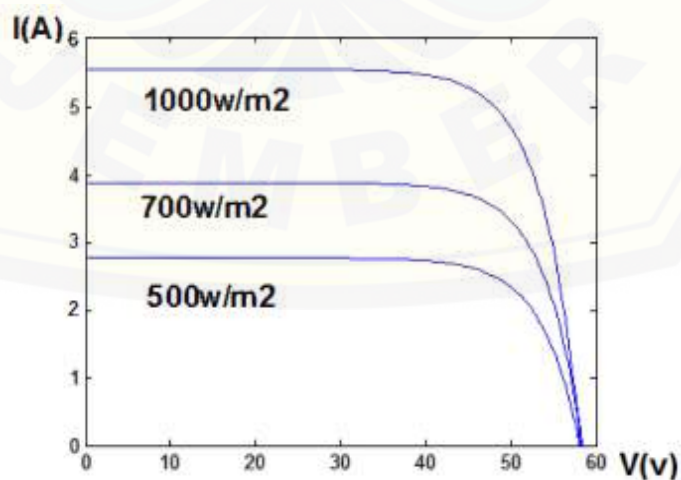
Dimana I_0 adalah *dark current* (arus gelap) dan I_s adalah *source current* (arus sumber), k adalah konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), T adalah suhu dalam K, dan e adalah muatan elektron. Pada kondisi ideal (sel-sel identik), untuk modul PV dengan susunan seri-paralel dari sel-sel, karakteristik I-V akan menjadi sama, kecuali skala arus dikalikan dengan cabang paralel dan skala tegangan sama dengan jumlah sel-sel secara seri dalam modul. Arus sumber I_s bervariasi secara linier dengan radiasi surya. Arus *dark* I_0 meningkat bila suhu operasi sel meningkat. Juga, lebih besar celah energi dari bahan, lebih kecil arus nol-nya. Rasio arus sumber I_s terhadap arus *dark* I_0 harus dibuat sebesar mungkin untuk memperbaiki operasi.

Dari persamaan-persamaan sel surya sebelumnya, digunakan dalam simulasi menggunakan komputer pada software matlab simulink untuk mendapatkan karakteristik keluaran sel surya, seperti pada gambar 5 dan 6. Dari gambar tersebut menunjukkan sangat jelas bahwa karakteristik keluaran sel surya adalah *non linier* dan sangat dipengaruhi oleh iradiasi sinar matahari dan

temperatur. Selain itu, karakteristik $I-V$ sel surya adalah *non linier* dan juga dipengaruhi oleh iradiasi dan temperatur permukaan. Secara umum, terdapat titik yang unik pada kurva $I-V$ atau kurva $V-P$, yang dinamakan *Maximum Power Point* (MPP). Dimana pada titik tersebut, sel surya menghasilkan daya keluaran paling besar. Pada gambar 2.18 (a) diperlihatkan pengaruh dari temperatur permukaan sel surya pada kurva $I-V$ dan pada gambar 2.18 (b) juga diperlihatkan pengaruh iradiasi terhadap daya dan tegangan keluaran dari sel surya. Gambar (2.18) karakteristik output solar cell daya maksimum (P_{mpp}), Tegangan open circuit (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}) yang disimulasikan dengan insolation (S) = 1000 W/m^2 , dan suhu (T) = 25°C



(a)



(b)

Gambar 2.18 Karakteristik *Output Solar Cell*

Maximum Power Point Tracking atau yang biasa disingkat MPPT, adalah sebuah sistem elektronis yang mengoperasikan modul *photovoltaic* (PV) atau modul sel surya agar dapat menghasilkan daya maksimal yang bisa diproduksi oleh modul sel surya. MPPT bukan merupakan sistem *tracking* mekanis yang secara fisik menggerakkan modul agar mengarah langsung ke matahari. MPPT merupakan sistem elektronis yang secara keseluruhan mengubah-ubah titik operasi elektronis modul sel surya sehingga dapat mengirim daya maksimal yang tersedia. Dari daya tambahan yang terkumpul yang berasal dari modul sel surya, sehingga arus pengisian baterai dapat ditingkatkan. MPPT dapat juga dihubungkan dengan sistem *tracking* mekanis, tetapi kedua sistem ini benar-benar sangat berbeda.

Titik daya maksimum yang dihasilkan solar cell akan berubah-ubah tiap waktu. Yaitu tergantung pada cuaca pada keadaan sekitar. Besar tegangan dan arus juga akan berubah menyesuaikan besar perbedaan cuaca pada solar cell yang digunakan. Sehingga algoritma MPPT akan menyesuaikan dan mencari titik daya maksimum dari perubahan cuaca.

Penelitian mengenai penggunaan MPPT seringkali pada sel surya, dan secara luas bisa diaplikasikan pada PV. Ada 3 jenis metode yang sering digunakan, yaitu *perturb and observe* (P&O), *incremental conductance* (InC), dan *Fractional open/short-circuit voltage/current*. P&O dan InC merupakan metode *Hill Climbing*. Metode *hill climbing* memiliki arti bahwa algoritma akan mencari titik daya maksimum dengan cara menjejak daya pada daerah operasi titik ke titik lainnya dan mengukur daya pada titik tersebut. Kemudian apabila daya mencapai titik yang paling besar, maka algoritma akan menjaga pada titik operasi tersebut. Perbedaan keduanya terletak pada capaian menuju maksimum *power point*. Yang mana akan berubah ubah disekitar titik tersebut (Ian Laird, 2013).

2.13 Incremental Conductance (InC)

Algoritma *Incremental conductance* merupakan salah satu metode MPP tracking. Algoritma ini menggunakan pengukuran *incremental* pada perubahan konduktansi pada generator, baik termoelektrik maupun sel surya. Dengan

membandingkan pengukuran *incremental*, dapat diketahui perubahan perubahan daya tegangan maupun arus yang disebabkan (Kok, Mekhilef, & Safari, 2013).

Incremental conductance didefinisikan sebagai (dI/dV / dV/dI). Dengan mendapatkan nilai konduktansi nyata dari modul PV, maka dapat diketahui MPP (titik maksimum) titik operasi berada. InC dapat mencari lebih cepat terhadap peningkatan dan penurunan tingkat kecerahan sehingga memiliki akurasi yang lebih baik dari pada P&O. Namun kelemahannya yaitu peningkatan yang kompleks ketika dibandingkan dengan P&O.

$$\Delta I/\Delta V = I/V \dots\dots\dots(2.23)$$

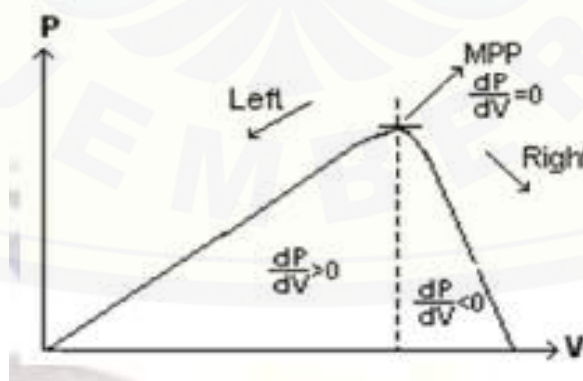
$$\Delta I/\Delta V > -I/V \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\Delta I/\Delta V = I/V \dots\dots\dots(2.25)$$

Persamaan (6.15) merupakan proses membandingkan nilai perubahan arus dan perubahan tegangan terhadap nilai arus dan tegangan yang ditentukan. Sedangkan persamaan (6.16, 6.17) merupakan perbandingan ketika nilai tidak sama, sehingga dapat bernilai positif maupun negatif sesuai dengan besar nilai arus dan tegangan.

$$dP/dV = 1 + (dI/dV) \dots\dots\dots(2.26)$$

Sehingga didapatkan persamaan (6.18) yang merupakan nilai dari perubahan daya terhadap tegangan. Nilai tersebut akan digunakan untuk mencari titik maksimum dari PV (Kok, Mekhilef, & Safari, 2013).



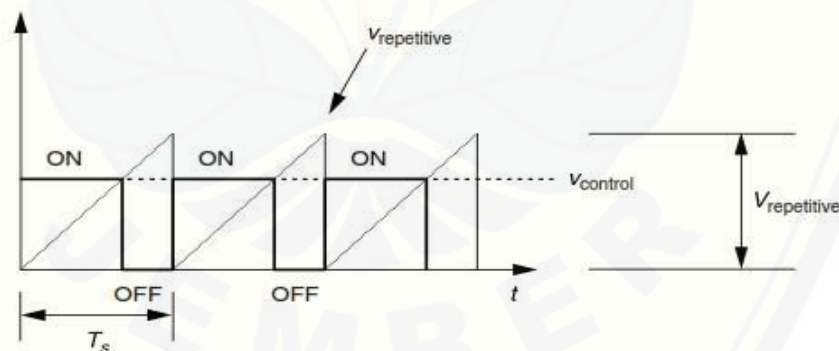
Gambar 2.19 Grafik *incremental conductance* (Lokanadham & Bhaskar, 2012)

Grafik 2.19 menunjukkan kondisi kerja algoritma MPPT untuk mencari nilai titik MPP pada tiap kondisi. Ketika nilai *conductance* bernilai nol, maka

algoritma akan mempertahankan posisi pada titik MPP. Namun ketika bernilai lebih dari nol, maka algoritma akan mendeteksi nilai menjauhi ke kiri MPP, begitu juga ketika nilai *conductance* bernilai kurang dari nol maka algoritma akan mendeteksi nilai menjauhi ke kanan MPP. Sehingga sistem akan mengontrol tegangan referensi agar dapat menjaga daya pada titik maksimum. Yaitu dengan cara mengatur besar PWM.

2.14 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah suatu jalan atau cara yang efisien dalam menyediakan sejumlah tegangan listrik antara kondisi “*high*” dan “*low*”. Saklar tegangan sederhana dengan sumber tegangan tipikal hana menyediakan tegangan penuh, ketika saklar dihidupkan. PWM adalah teknik mendapatkan sinyal kotak diantara *on* dan *off*. Teknik ini digunakan untuk mengontrol saklat otomatis seperti MOSFET. Hal yang berpengaruh adalah besar *duty cycle*. *Duty cycle* merupakan perbandingan waktu *on* dan waktu *off*. Besar *duty cycle* berpengaruh terhadap pensaklaran dari MOSFET. Gambar 2.20 merupakan kerja dari sinyal PWM.



Gambar 2.20 Kerja PWM (Irwin, 2002)

Pada penelitian ini sinyal PWM digunakan sebagai kontrol MOSFET pada konverter tipe SEPIC. Besar *duty cycle* yang digunakan untuk mengontrol konverter tergantung dari kontrol algoritma MPPT yang digunakan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada metode pelaksanaan data ini akan menjelaskan tempat dan waktu, ruang lingkup, jenis dan sumber data, serta metode pengumpulan data yang dilakukan dalam proses penelitian :

3.2 Rancangan Penelitian

3.2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan membuat rancang bangun. Rancang bangun ini bertujuan mengambil data mengenai sistem Kontrol MPPT InC pada *Converter DC/DC Tipe SEPIC Untuk Stasiun Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan Solar Cell*. Proses yang terjadi yaitu tegangan keluaran dari panel surya akan masuk pada *SEPIC converter* agar dapat mengisi baterai 48 Volt. Selanjutnya, pada proses pengisian ini di tambahkan dengan metode kontrol yaitu dengan MPPT InC (*Incremental Conductance*).

3.2.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Jember yang beralamat di Jln. Slamet Riyadi no. 62 Patrang. Penelitian ini direncanakan akan dilakukan pada bulan Desember 2018 sampai dengan selesai.

Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan Ke-/Minggu															
		Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
2.	Studi Literatur	■	■	■	■												
3.	Penelitian					■	■	■	■								
4.	Analisis Data									■	■	■	■				
5.	Pembahasan													■	■	■	■
6.	Pembuatan Laporan																■

Keterangan :

■ : Kegiatan dilaksanakan

3.2.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Alat :

1. Obeng
2. Solder
3. Laptop
4. Avometer
5. Lux meter
6. LC meter
7. *Oscilloscope*

Bahan :

1. Panel Surya 100 WP Polycrystalline (2 buah)
2. Arduino UNO R3
3. *SEPIC Converter*
4. *Battery / ACU* (yang terdapat dalam sepeda listrik)
5. Modul RTC
6. Modul SD card
7. *Battery level* indikator
8. Timah
9. Sensor Arus
10. Sensor Tegangan
11. Resistor Kapur
12. Potensio
13. Push button
14. LCD 16 x 2 + I2C
15. Jumper

3.3 Jenis dan Sumber Data

3.3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh oleh penulis melalui dua bagian yaitu:

1. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

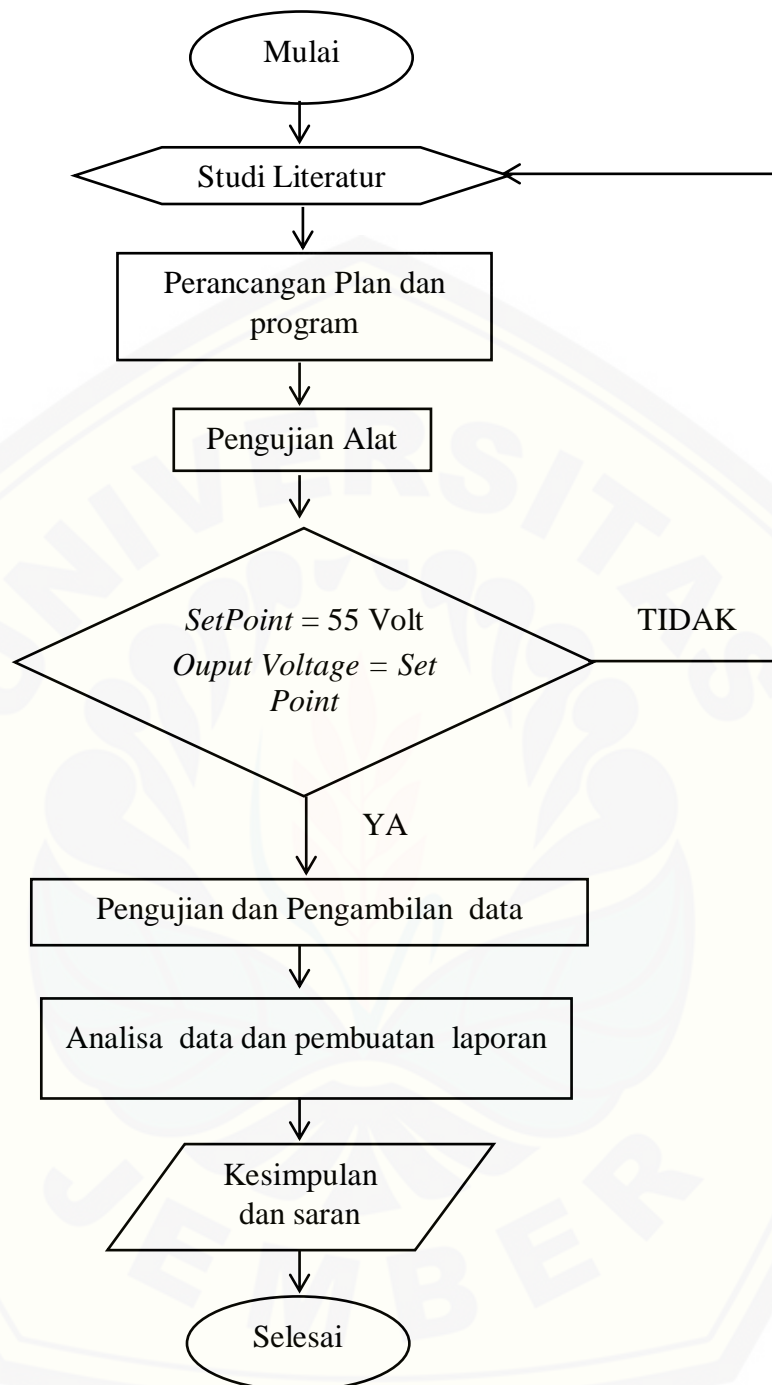
Penelitian kepustakaan atau juga sering disebut studi pustaka merupakan proses pengambilan data baik untuk latar belakang ataupun landasan teori yang berasal dari buku-buku, internet, *International Journal*, jurnal nasional, maupun *e-book*. Data-data yang ada dikumpulkan secara selektif sesuai dengan kebutuhan yang ada seperti semakin tingginya kebutuhan listrik dari tahun ke tahun dan lain sebagainya. Data-data tersebut selanjutnya akan dijadikan referensi oleh peneliti atau penulis untuk proses penelitian dan penyusunan skripsi. Data yang diperoleh dari studi pustaka ini merupakan data sekunder, dikarenakan mengutip dari berbagai referensi tanpa langsung terjun ke lapangan.

2. Penelitian Observasi Langsung (*Direct Observation*)

Penelitian ini dilakukan dengan cara terjun langsung ke lapangan. Untuk penelitian kali ini tempat yang akan dilakukan penelitian adalah Laboratorium Fakultas Teknik, Patrang, Jember, Jawa Timur, Indonesia. Pada proses penelitian ini berfungsi untuk mengambil data yang dibutuhkan secara langsung yaitu data tegangan yang dihasilkan oleh panel surya serta data tegangan yang telah melalui konverter SEPIC dengan algoritma MMPT InC (*Incremental Conductance*) yang akan digunakan sebagai stasiun pengisian baterai pada sepeda listrik. Jenis data ini merupakan data primer karena dilakukan observasi langsung dengan terjun ke lapangan.

3.3.2 Kerangka Pemecahan Masalah

Adapun tahap-tahap dalam penelitian dan penyusunan penelitian ini secara keseluruhan yang digunakan sebagai kerangka dalam pemecahan masalah pada penelitian kali ini dapat dinyatakan dalam diagram alir sebagaimana terlihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian “Penerapan Kontrol MPPT InC pada *Converter* DC/DC Tipe SEPIC Untuk Stasiun Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan *Solar Cell*” adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Tahap pertama memulai penelitian ini dilakukan dengan tahapan mencari sumber literatur yang berkaitan dengan penelitian ini, dengan harapan perancangan dan pelaksanaan penelitian dapat sesuai dengan yang diharapkan.

2. Perancangan plan dan sistem kontrol

Tahapan kedua adalah perancangan plant dan sistem kontrol dimana ditahap ini dilakukan perancangan beberapa komponen pengendali seperti sensor tegangan, SEPIC *converter* dan plan secara keseluruhan.

3. Percobaan pengujian

Tahap ketiga adalah dimana dilakukan percobaan pengujian antara lain sensor tegangan untuk mendapat pembacaan sensor yang baik. Kemudian pengujian SEPIC *converter* serta pengujian pada panel surya yang digunakan.

4. Pembuatan program pada arduino

Pada tahap keempat kali ini yaitu dengan melakukan pemrograman pada arduino untuk mendapatkan *set point* yang ditentukan agar tegangan yang akan masuk pada baterai sepeda listrik menjadi sesuai dengan tegangan yang di butuhkan baterai sesuai dengan toleransi yang diberikan pada saat pengisian baterai meskipun dengan masukan tegangan yang terdapat pada SEPIC *converter* berubah ubah.

5. Pengujian dan pengambilan data

Tahap kelima adalah pengujian dan pengambilan data dari sistem kontrol yang telah dibuat pada keseluruhan plan, dimana pada pengujian plan tersebut dilakukan pengisian pada baterai aki pada sepeda listrik dengan tegangan 57 Volt.

6. Analisa data dan pembuatan laporan

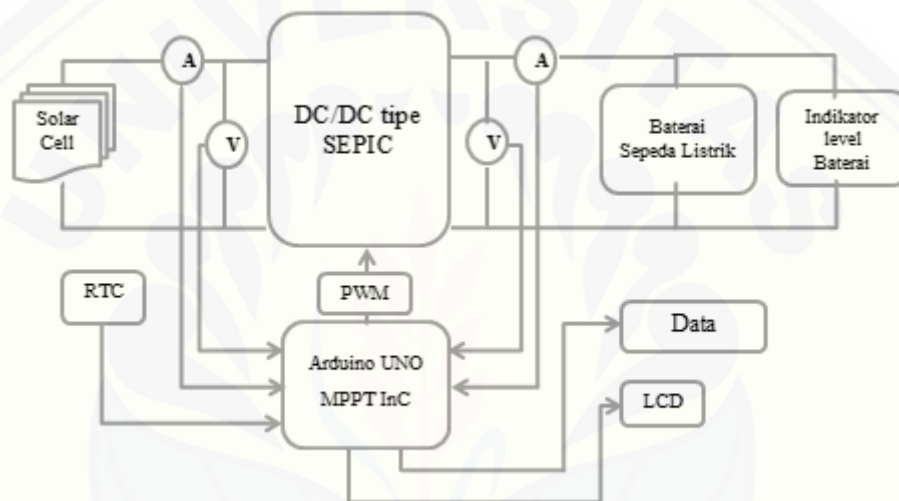
Tahap keenam adalah melakukan analisa pada data yang diperoleh dan membuatnya menjadi sebuah bentuk laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

7. Kesimpulan dan saran

Tahap ketujuh merupakan tahapan terakhir pada penelitian ini yaitu memberikan kesimpulan dari pengujian dan analisa data yang telah diperoleh, serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya..

3.3.3 Blok Diagram Sistem

Pada penelitian kali untuk mendapatkan data yang diinginkan dan sesuai dengan tujuan awal maka sesuai dengan topik yang diambil untuk bentuk dari blok diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Pada dasarnya prinsip kerja dari sistem pengisian baterai pada sepeda listrik menggunakan *solar cell* berbasis Arduino UNO R3, dapat dilihat dari gambar 13 yang merupakan gambaran dari blok diagram sistem secara keseluruhan. Panel surya yang digunakan dalam *plan* ini yaitu panel surya 100Wp *polycrystalline* sebanyak 2 buah yang dikonfigurasi secara seri. Maka *output* dari panel surya tersebut yaitu sebesar 34 V – 40 V, sedangkan untuk melakukan *charge* terhadap sebuah battery maka harus menggunakan tegangan 57 V. Maka dari itu diperlukan SEPIC *converter* untuk menaikkan tegangannya. SEPIC *converter* mengatur besarnya berdasarkan *duty cycle*, sedangkan *duty cycle* diatur oleh sebuah kontrol yang berupa Arduino UNO R3 berdasarkan besarnya PWM dengan menggunakan kontrol MPPT InC (*Incremental Conductance*). Di dalam

Arduino ini terdapat control agar dapat mengatasi apabila terjadi drop tegangan sehingga mempertahankan output tegangan berada pada set poin. Sensor tegangan dipasang bertujuan untuk mengetahui output tegangan dari panel surya, SEPIC *converter* dan juga digunakan sebagai input dari Arduino yang berupa ADC (*Analog to Digital Converter*). Sebagai tambahan maka tegangan keluaran dari SEPIC *converter* akan di kontrol dengan MPPT InC (*Incremental Conductance*) agar diperoleh kestabilan teganganyang akan masuk ke dalam baterai sepeda listrik saat melakukan *charging*.

3.4 Perancangan Komponen Pengendali (*Hardware*)

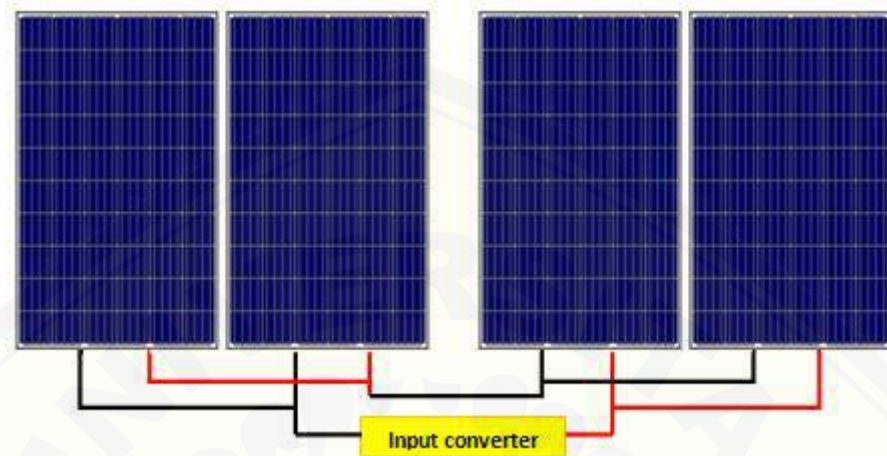
3.4.1 Rangkaian *Solar Cell*

Pada penelitian ini, digunakan 4 buah modul *solar cell*. modul akan dirangkai seperti (gambar 7.3), yang kemudian akan dinaikan tegangannya dengan konverter DC//DC tipe SEPIC. Modul *solar cell* yang digunakan adalah 4 buah *solar cell* 100 Wp dengan jenis *polycrystalline*. Untuk *Datasheet* dari *solar cell* dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 3.2 *Datasheet solar cell jenis polycrystalline*100 Wp

Max Power Pmax	100Wp
Max Power Voltage Vmp	18.75V
Max Power Current Imp	5.35A
Open-Circuit Voltage Voc	22.53V
Short-Circuit Current ISC	5.70A
Cell Efficiency	17%
Module Efficiency	15.10%
Power Tolerance	3%
Series Fuse Rating	10A
Temperature Coefficients of Pmax	-0.45%/°C
Temperature Coefficients of Voc	-0.35%/°C
Temperature Coefficients of ISC	0.05%/°C
NOTC (Nominal Operating Cell Temp.)	47°C

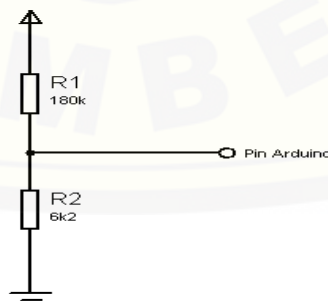
Gambar 3.3 merupakan rangkaian dari 2 modul solar cell yang dirangkai secara seri dan paralel agar keluaran dari *solar cell* sesuai dengan tegangan masukan pada perhitungan konverter SEPIC.



Gambar 3.3 Rangkaian Modul Solar Cell Untuk Input Converter

3.4.2 Sensor Tegangan

Sensor tegangan dibangun dari rangkaian pembagi tegangan. Pada Perancangannya yaitu dilakukan dengan cara menyusun resistor secara seri. Rangkaian pembagi tegangan ini menggunakan resistor $180\text{ k}\Omega$ dan resistor $6\text{ k}\Omega$. Tujuan dari dirangkainya secara seri dari kedua buah resistor yaitu agar dapat membaca tegangan $0 - 200\text{ V}$ dan perbandingan tegangan untuk diberikan ke arduino uno R3 $0 - 5\text{ V}$. Skema rangkaian sensor tegangan dapat dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Skematik Sensor Tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini dapat dilihat seperti pada persamaan berikut ini :

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

dimana, $V_{out} = 5$; $V_{in} = 200$ volt; $R_1 = 100$ k Ω

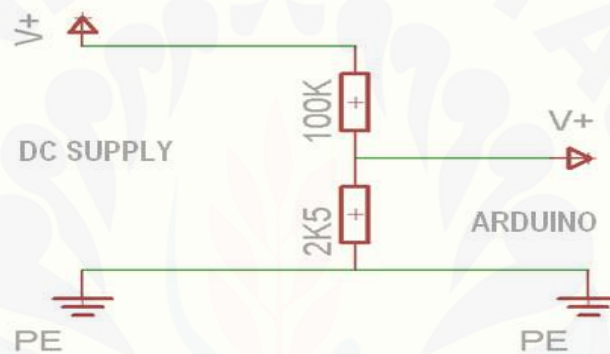
$$5 = \frac{200 \times R_2}{(100k + R_2)}$$

$$5 \times (100k + R_2) = 200 \times R_2$$

$$500k + 5R_2 = 200R_2$$

$$R_2 = \frac{500k}{195} R_2 = 2k5 \Omega$$

Sedangkan untuk pengujian pada sensor tegangan ini sendiri dilakukan dengan cara seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

Dalam pengujian ini digunakan DC *power supply* sebagai sumber tegangan pada sisi *input* dari sensor tegangan. Kemudian sebuah digital multimeter untuk melakukan pengukuran tegangan dan nantinya dibandingkan dengan pembacaan *display* tegangan yang ada pada DC *power supply*.

3.4.3 Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 Sebagai kontroler yang digunakan dalam *plant*. Pada penjelasan tentang arduino akan dijelaskan lebih spesifik, terutama dalam penggunaannya yaitu sebagai *embedded system*. Arduino yang digunakan yaitu dengan tipe arduino uno R3 dimana *embedded system* ini yang menerima *feedback* tegangan dari *output* tegangan SEPIC *converter*. Pembacaan nilai *output* tegangan SEPIC *converter* ini melalui sensor tegangan yang menggunakan proses

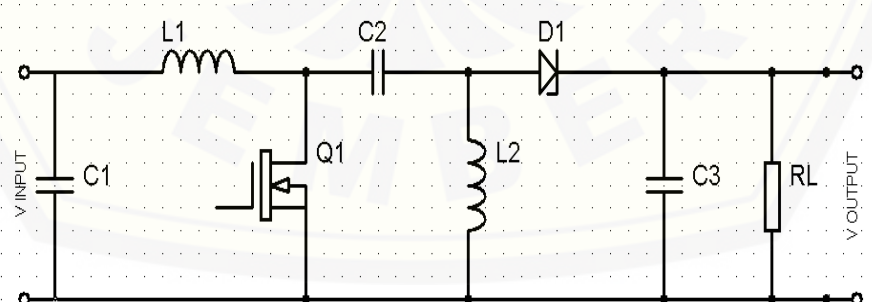
ADC dan terhubung pada pin arduino yaitu pada pin A0. Untuk ADC sendiri pada arduino terdapat pada pin A0-A5. Sedangkan untuk pin yang mengontrol *output* PWM pada SEPIC *converter* menggunakan pin 9. Pada arduino sendiri untuk pin-pin yang dapat mengontrol PWM yaitu terdapat pada pin 3, 5, 6, 9 dan 10 (Arduino LLC,2015). Pada tahap ini, pengujian *embedded system* dilakukan dengan mencoba menghubungkan pada pin arduino yang diinginkan karena tidak jarang pin pada arduino juga tidak dapat digunakan dengan sehingga dibutuhkan pengecekan ulang, seperti penerimaan pembacaan ADC oleh sensor.

3.4.4 Perancangan SEPIC Converter

Untuk mendesain sebuah SEPIC *converter* dibutuhkan perhitungan untuk mencari nilai dari *duty cycle*, *filter*, maupun bebannya. Maka digunakan langkah-langkah seperti yang tertera dibawah ini,sesuai dengan parameter yang di dapat :

Tabel 3.3 Parameter DC/DC SEPIC Converter

Tegangan Masukan	34-40 V
Tegangan Keluaran	57 V
Arus Keluaran	2 A
Frekuensi	40 KHz



Gambar 3.6 Desain SEPIC Converter

Sebelum mendesain DC/DC *converter* terlebih dahulu menentukan spesifikasi dari *converter* yang akan digunakan. spesifikasi *converter* yang digunakan sesuai dengan tabel 3.5. kemudian langkah selanjutnya yaitu

melakukan perancangan ukuran masing masing komponen dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Berdasarkan spesifikasi yang ditentukan, digunakan 3 buah beban untuk pengujian, yaitu sebesar 30 ohm, 100 ohm, dan 300 ohm. Untuk besar tegangan sampel diambil tegangan sebesar 37 V. langkah selanjutnya yaitu merancang komponen untuk membuat konverter tipe SEPIC, berikut ini Langkah – langkah menentukan nilai masing-masing komponen melalui perhitungan:

1. Perhitungan *duty cycle*

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

$$D_{(max)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)} + V_{out} + V_D} = \frac{57 + 0.7}{34 + 57 + 0.7} = 0.63 = 63\%$$

$$D_{(min)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(max)} + V_{out} + V_D} = \frac{57 + 0.7}{40 + 57 + 0.7} = 0.59 = 59\%$$

2. Menentukan tegangan *output* minimum dan maksimum

Nilai V_{in} diambil tegangan sample dari tegangan rata-rata $V_{in(max)}$ dan

$V_{in(min)}$ yaitu 37 V

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times D}{1 - D}$$

$$V_{out(min)} = \frac{V_{in} \times D_{min}}{1 - D_{min}} = \frac{37 \times 0.59}{1 - 0.59} = 53.243 \text{ V}$$

$$V_{out(max)} = \frac{V_{in} \times D_{max}}{1 - D_{max}} = \frac{37 \times 0.63}{1 - 0.63} = 63 \text{ V}$$

3. Menentukan R_{Lout} maksimum dan maksimum

$$V_{in} = 37 \text{ V}, I_{out(min)} = 0.1 \text{ A}, I_{out(max)} = 2 \text{ A}$$

$$R_{Lout} = \frac{V_{out}}{I_{out}}$$

R_{Lout}	Dmin = 59%	Dmax = 63%
Min	26,6 ohm	31,5 ohm
Max	532,4 ohm	630 ohm

4. Menentukan daya keluaran ($V_{in}=37V$)

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

P_{out}	$D_{min} = 59\%$	$D_{max} = 63\%$
Min	$P_{out}(min) = 5.3 \text{ W}$	$P_{out}(min) = 6.3 \text{ W}$
Max	$P_{out}(max) = 106 \text{ W}$	$P_{out}(max) = 126 \text{ W}$

5. Pemilihan induktor

- Arus Ripple

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

$$\Delta I_L = 2 \times \frac{57}{34} \times 40\% = 1.34 \text{ A}$$

- Arus puncak L1

$$I_{L1} (peak) = I_{out} \times \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right)$$

$$I_{L1} (peak) = 2 \times \frac{57+0.7}{34} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 4.06 \text{ A}$$

- Arus puncak L2

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

$$I_{L2} (peak) = 2 \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 2.4 \text{ A}$$

- Induktansi

$$L = L1 = L2 = \frac{V_{in(min)} \times D_{max}}{\Delta I_L \times f}$$

$$L = L1 = L2 = \frac{34 \times 0.63}{0.67 \times 40000} = 0.396 \text{ mH}$$

Besar induktor $\geq 0.3\text{mH}$. Sedangkan besar induktor yang digunakan minimal 25% lebih besar dari nilai perhitungan.

Setelah nilai dari induktansi, arus ripple dan arus maksimum yang ada pada induktor telah ditemukan, langkah selanjutnya yaitu menghitung jumlah lilitan, pada penelitian ini jenis induktor yang digunakan digunakan yaitu *torroidal core inductor* atau inti yang berbentuk O Ring (bentuk donat) dengan tipe FT-240-43 (buatan Amidon) dengan nilai $AL = 1075 \text{ uH}/100$ turn. Untuk ukuran enamel yang digunakan dalam penelitian sebesar 0.8 mm (berdasarkan datasheet).

$$N = 100 \sqrt{\frac{\text{Nilai } L \text{ (}\mu\text{H)}}{AL \left(\frac{\mu\text{H}}{100}\text{turn}\right)}}$$

$$N = 100 \sqrt{\frac{0.398}{1075}}$$

$$N = 19,24800147 \text{ lilitan}$$

6. Pemilihan MOSFET

$$\begin{aligned} IQI(\text{peak}) &= IL1(\text{peak}) + IL2(\text{peak}) \\ &= 4.06 + 2.4 = 6.46\text{A} \end{aligned}$$

Arus rms

$$\begin{aligned} IQI(\text{rms}) &= \sqrt{\frac{V_{out} + V_{in}(\text{Min}) + V_D * (V_{out} + V_D)}{V_{in}^2}} \\ &= \sqrt{\frac{57 + 34 + 0.5(57 + 0.5)}{34^2}} \\ &= 4.26 \text{ A} \end{aligned}$$

Batas tegangan maksimal $V_{in} + V_{out} = 34 + 57 = 91 \text{ V}$. Berdasarkan hasil perhitungan arus puncak dan arus rms serta tegangan maksimal. Maka dipilih MOSFET dengan tipe P-channel yaitu IRF540. MOSFET ini sesuai karena memiliki V_{ds} maksimal 100 V (lebih besar dari batas tegangan), dengan I_{ds} maksimal 23 A, serta memiliki R_{ds} yang kecil yaitu sebesar 0,077 ohm. Pemilihan R_{ds} yang semakin kecil akan meminimalisir besar daya losses pada MOSFET.

7. Pemilihan Dioda

Untuk menentukan dioda diperlukan tegangan minimum tegangan reverse.

$$\begin{aligned} V_{RD} &= V_{in}(\text{Max}) + V_{out}(\text{Max}) \\ V_{RD} &= 40 + 63 = 103 \text{ V} \end{aligned}$$

8. Perhitungan Kapasitorinput (Cin)

Kapasitor Cin berfungsi sebagai kapasitor filter tegangan masukan, agar *ripple* tegangan masukan lebih direduksi. Tegangan *ripple* maksimal pada

rangkaian SEPIC diberikan dengan nilai tidak lebih dari 3V, tegangan tersebut sehingga besar kapasitor input :

$$I_{cin} \text{ (rms)} = \Delta IL / \sqrt{12} = 1.34 / \sqrt{12} = 0.39 \text{ A}$$

Sehingga dapat diperoleh nilai C_{in}

$$C_{in} = \frac{I_{cin}}{2 \times f}$$

$$C_{in} = \frac{0.39}{2 \times 40000} = 4,875 \text{ uF}$$

Besar kapasitas kapasitor input minimal 25% dari hasil perhitungan. Sehingga besar ukuran kapasitor minimal yaitu 4.2 uF. Untuk lebih memperkecil *ripple* tegangan maka, pada perancangan konverter SEPIC ini digunakan kapasitor sebesar 47 uF.

9. Perhitungan kapasitor coupling (C_s)

Arus RMS pada C_s

$$I_{cs} \text{ (RMS)} = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + V_D}{V_{in(\min)}}}$$

$$I_{cs} \text{ (RMS)} = 2 \times \sqrt{\frac{57 + 0.5}{34}} = 2.6 \text{ A}$$

Perhitungan ΔV_{Cs} . Anggap $C_s = 0.0001 \text{ F}$

$$\Delta V_{Cs} = \frac{I_{out} \times D_{max}}{C_s \times f}$$

$$\Delta V_{Cs} = \frac{2 \times 0.63}{0.0001 \times 40000} = 0.315 \text{ V}$$

Sehingga diiperoleh nilai C_s

$$C_s = \frac{I_{cs} \times D_{max}}{\Delta V_{Cs} \times f}$$

$$C_s = \frac{2.6 \times 0.63}{0.41 \times 40000} = 99.88 \text{ uF}$$

Untuk pemilihan kapasitor C_s atau kapasitor coupling adalah rating tegangan harus lebih besar 25% daripada tegangan *input* maksimum. Sehingga dipilih 470uF.

10. Perhitungan kapasitor output (C_{out})

V_{ripple} diasumsikan 2% dari tegangan *output*

$$V_{ripple} = 2\% \times 57 = 1.14$$

Perhitungan ESR

$$ESR = \frac{V_{ripple} \times V_D}{I_{L1(peak)} \times I_{L2(peak)}}$$

$$ESR = \frac{1.14 \times 0.5}{4.06 \times 2.4}$$

$$ESR = 88 \text{ miliohm}$$

Perhitungan Cout

$$C_{out} = \frac{I_{out} \times D_{max}}{V_{ripple} \times f \times V_D}$$

$$C_{out} = \frac{2 \times 0.63}{1.14 \times 40000 \times 0.5}$$

$$C_{out} = 55 \text{ uF}$$

Cout bernilai lebih dari 7.350 uF. Dikarenakan besar kapasitor minimal 25% dari hasil pergitungan, untuk lebih memperkecil nilai *ripple* tegangan, maka pada penelitian ini dipakai nilai sebesar 100 uF.

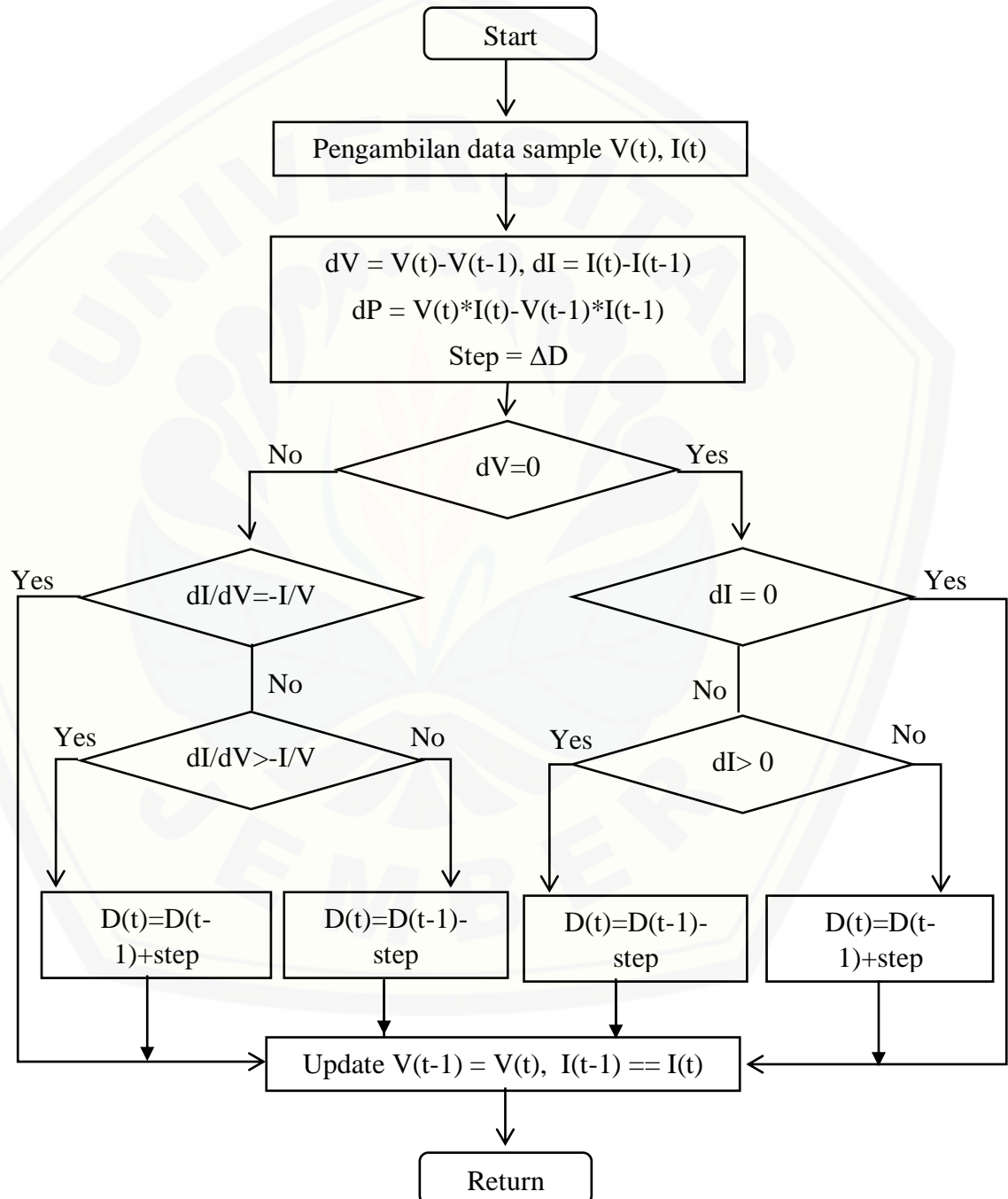
Melalui persamaan tersebut, didapat beberapa nilai komponen konverter tipe SEPIC sesuai spesifikasi *solar cell* serta sesuai dengan spesifikasi *charging* baterai yang akan digunakan pada sepeda listrik. Nilai parameter komponen sesuai persamaan matematis perhitungan komponen SEPIC terdapat pada tabel 3.6.

Tabel 3.4 Parameter perancangan SEPIC Converter

Parameter	Nilai
Tegangan <i>input</i>	34 – 40 Volt
Tegangan <i>output</i> (<i>V_{out}</i>)	57 Volt
Arus output (<i>I_{out}</i>)	2 A
Frekuensi <i>switching</i> (<i>f</i>)	40 kHz
Toroid	FT-240-43
Induktor 1 dan 2 (<i>L1</i> dan <i>L2</i>)	0.5 mH
Kapasitor <i>input</i> (<i>C_{in}</i>)	47uF/250v
Kapasitor <i>coupling</i> (<i>C_s</i>)	470uF/250v
Kapasitor <i>output</i> (<i>C_{out}</i>)	100uF/250v
MOSFET	IRF540
Dioda	MBR20200 CT
<i>Duty cycle min</i>	54%
<i>Duty cycle max</i>	63%

3.4.5 Kontrol MPPT InC (Incremental Conductance)

Berikut ini (gambar 7.8) *Flowchart* algoritma InC (*Incremental Conductance*). Algoritma MPPT yang dibuat akan diterapkan pada mikrokontroler sebagai pengontrol *duty cycle* untuk mencari titik daya maksimum sesuai dengan beban.



Gambar 3.7 Flowchart Algoritma MPPT InC (*Incremental Conductance*)

Pada penelitian ini akan dipakai algoritma MPPT yaitu InC (*Incremental Conductance*). Algoritma ini memanfaatkan perubahan *conductance* untuk mencari titik maksimum dari daya yang dihasilkan oleh *Solar cell*. *Conductance* pada pembangkit merupakan perbandingan antara arus dan tegangan.

$$\text{Conductance} = I/V$$

Pada tahap ini terlebih dahulu ditentukan besarnya *setpoint* yang digunakan untuk membuat *membership function* dan juga pada proses perhitungan *error* dan *delta error*. Untuk besarnya nilai *setpoint* yang digunakan yaitu 57, dimana nilai ini merupakan yang menjadi acuan dalam kontrol agar tetap stabil pada nilai tersebut.

Metode MPPT ini memanfaatkan perubahan *conductance* atau *InC* (*Incremental Conductance*) untuk mencari titik MPP pada tiap iterasi. Ada 3 kondisi penting yang terjadi pada MPPT InC (*Incremental Conductance*) ini. Yaitu ketika pada posisi MPP, *left of MPP*, *right of MPP*. MPP atau titik maksimum merupakan kondisi dimana dP/dV memiliki hasil yaitu sama dengan nol (0). *Left of MPP* merupakan kondisi dimana titik tracking bergeser kekiri dari titik MPP atau kondisi ini terjadi ketika nilai dari $dP/dV > 0$. Sedangkan *right of MPP* merupakan kondisi dimana titik tracking bergeser kekanan dari titik MPP atau kondisi ini terjadi ketika nilai dari $dP/dV < 0$. Pada gambar 3.5 menjelaskan bagaimana algoritma ini mencari titik maksimum dengan cara membandingkan perubahan *conductance* dari data lama dan dibandingkan dengan data baru.

Algoritma ini diawali dari pengambilan data tegangan dan arus oleh sensor. Data arus dan tegangan yang diambil merupakan data arus dan tegangan dari keluaran *solar cell*. Data tersebut akan di inialisasi oleh variabel baru yaitu dV dan dI . Dimana nilai dV merupakan pengurangan dari tegangan baru dengan tegangan sebelumnya ($V(t) - V(t-1)$) sedangkan dI merupakan data baru pengurangan arus baru dengan arus sebelumnya ($dI = I(t) - I(t-1)$), serta variabel dP pengurangan data daya baru dengan daya sebelumnya ($V(t) * I(t) - V(t-1) * I(t-1)$)

Kondisi titik maksimum atau MPP terjadi ketika perbandingan antara dV dan dP bernilai nol. Hal ini akan lebih dari InC (*Incremental Conductance*) akan

kembali dengan pengambilan keputusan yaitu pada kondisi ketika dV bernilai nol. Ketika kondisi ini belum memenuhi maka algoritma akan melakukan proses pengambilan keputusan lagi yaitu $dI/dV = -I/V$. Apabila kondisi terpenuhi, maka mikrokontrol akan mengirimkan *duty cycle* sama seperti *duty cycle* sebelumnya atau $D(t) = D(t - 1)$. Namun apabila kondisi tersebut belum memenuhi maka algoritma akan mengambil keputusan yaitu $dI/dV > -I/V$. Kemudian algoritma akan melakukan pengambilan keputusan kembali yaitu ketika kondisi $dI/dV > -I/V$ terpenuhi maka langkah selanjutnya yaitu memperbaharui *duty cycle* yang akan dikirim mikrokontrol sebesar $D(t) = D(t - 1) + \text{step}$. Namun apabila kondisi tidak terpenuhi maka *duty cycle* akan diperbaharui dengan nilai $D(t) = D(t - 1) - \text{step}$. Kemudian ketika kondisi $dV = 0$ terpenuhi maka tahap selanjutnya yaitu pengambilan keputusan kembali dengan perintah $dI = 0$. Apabila kondisi $dI = 0$ terpenuhi maka sistem akan langsung mengirim *duty cycle* seperti nilai sebelumnya ($D(t) = D(t - 1)$). Namun jika kondisi tersebut tidak terpenuhi maka akan dilakukan pengambilan keputusan kembali oleh sistem yaitu dengan perintah $dI > 0$. Jika perintah tersebut bernilai benar maka tahap selanjutnya yaitu memperbaharui nilai *duty cycle*. jika perintah tersebut bernilai benar maka nilai *duty cycle* ($D(t)$) adalah $D(t) = D(t - 1) + \text{step}$. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi maka *duty cycle* akan diperbaharui dengan nilai $D(t) = D(t - 1) - \text{step}$.

Tahap terakhir dari metode MPPT ini yaitu proses memperbaharui nilai tegangan dan arus. Yaitu dengan kondisi $V(t - 1) = V(t)$, $I(t - 1) = I(k)$. setelah proses *update* nilai data tegangan dan arus terbaru maka tahap selanjutnya yaitu proses kembali pada pembacaan data sensor tegangan dan arus.

3.4.6 Baterai *Lead Acid*

Pada penelitian ini, digunakan baterai dengan tipe *Lead Acid*/aki dengan besar tegangan 12V dengan kapasitas 12 Ah sebanyak 4 buah dengan dirangkai secara seri, sehingga tegangan baterai adalah 48V dengan kapasitas 12 Ah. Baterai akan digunakan sebagai beban yang memiliki resistansi yang berubah-ubah secara dinamis yang tergantung pada kapasitas baterai tersebut.

Pada gambar 7.9 ditunjukkan bentuk fisik dari baterai yang akan digunakan untuk penelitian ini.



Gambar 3.8 Baterai Chilwee 6-DZM-12

Baterai yang digunakan pada penelitian ini merupakan baterai dengan kapasitas 12V/12 Ah tipe 6-DZM-12 buatan Chilwee. Spesifikasi lengkap dari baterai yang dipergunakan terdapat pada tabel 3.7.

Tabel 3.5 Spesifikasi Baterai Chilwee 6-DZM-12

<i>Specification</i>		
<i>Nominal voltage</i>	12 V	
<i>Number of cell</i>	6 cell	
<i>Rated capacity</i>	12 Ah	
<i>Charge voltage</i>	13,5-14,5 V	
<i>Dimension</i>	<i>Lenght</i>	151 mm
	<i>Width</i>	99 mm
	<i>High</i>	97 mm
	<i>Total High</i>	103 mm

Baterai umumnya terdiri dari anoda, katoda, dan elektrolit. Arus muatan tergantung pada teknologi dan kapasitas baterai yang sedang diisi. Misalnya, arus yang harus diterapkan untuk mengisi ulang baterai sepeda listrik 12 V akan sangat berbeda dari arus untuk baterai ponsel.

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, yang dapat digunakan kembali berkali-kali, seperti pada baterai sepeda listrik.

Untuk menentukan berapa lama waktu yang dibutuhkan saat melakukan pengisian baterai digunakan persamaan berikut. Diketahui arus keluaran dari SEPIC *converter* = 2 A. Kapasitas baterai = 12 Ah

$$\begin{aligned} \text{MTFC (No Efficiency Loss)} &= ((BC / I) * 10) / 10 \\ &= ((12 / 2) * 10) / 10 \\ &= 6 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTFC (10\% Efficiency Loss)} &= ((BC / I) * 11) / 10 \\ &= ((12 / 2) * 11) / 10 \\ &= 6.6 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTFC (20\% Efficiency Loss)} &= ((BC / I) * 12) / 10 \\ &= ((12 / 2) * 12) / 10 \\ &= 7.2 \text{ jam} \end{aligned}$$

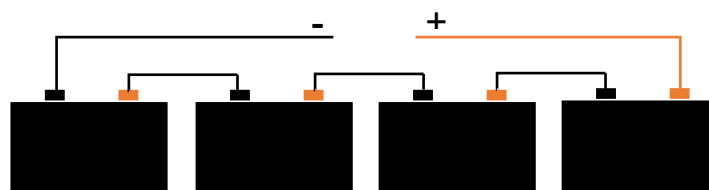
$$\begin{aligned} \text{MTFC (30\% Efficiency Loss)} &= ((BC / I) * 13) / 10 \\ &= ((12 / 2) * 13) / 10 \\ &= 7.8 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTFC (40\% Efficiency Loss)} &= ((BC / I) * 14) / 10 \\ &= ((12 / 2) * 14) / 10 \\ &= 8.4 \text{ jam} \end{aligned}$$

Keterangan:

- MTFC - *Maximum Time To Full Charge*
- BC - *Battery Capacity*
- I - *Current*

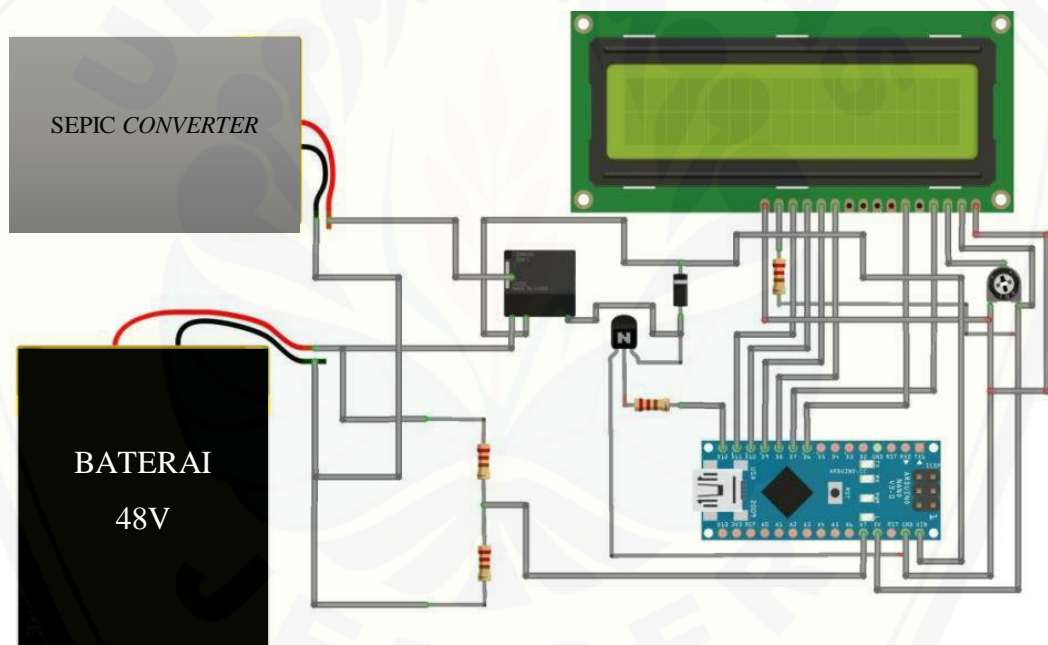
Pada gambar 3.10 ditunjukkan konfigurasi dari baterai yang ada pada sepeda listrik dengan menggunakan 4 baterai 12 volt dengan rangkaian seri



Gambar 3.9 Rangkaian Baterai Sepeda Listrik

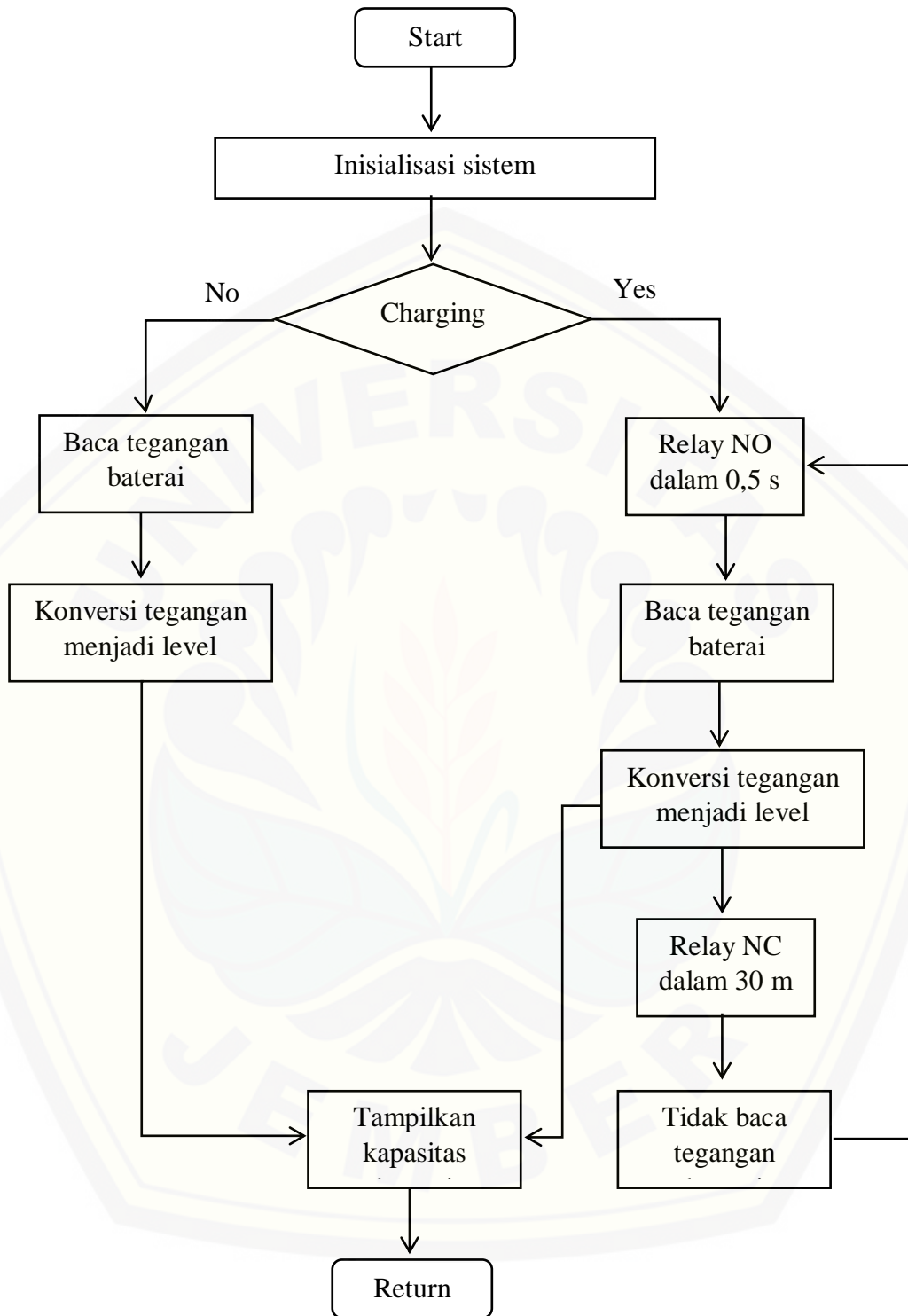
3.4.7 Baterai Level Indikator

Untuk mengetahui kapasitas baterai baik saat dilakukan charging atau tidak, diperlukan rangkaian baterai level indikator agar dapat memonitoring kapasitas baterai secara *realtime*. Namun ketika dilakukan pengukuran baterai pada saat *charging*, tegangan baterai tidak sama kapasitas baterai sesungguhnya, karena baterai diberikan *supply* tegangan yang lebih tinggi sehingga perlu dilakukan pemutusan charging baterai beberapa saat untuk mengambil data tegangan baterai yang sesungguhnya dan ditampilkan di LCD kemudian dilakukan penghubungan *charging* kembali. Hal ini dilakukan secara terus menerus selama baterai dalam keadaan *charging*. Berikut ini merupakan rangkaian baterai level indikator.



Gambar 3.10 Rangkaian Baterai Level Indikator

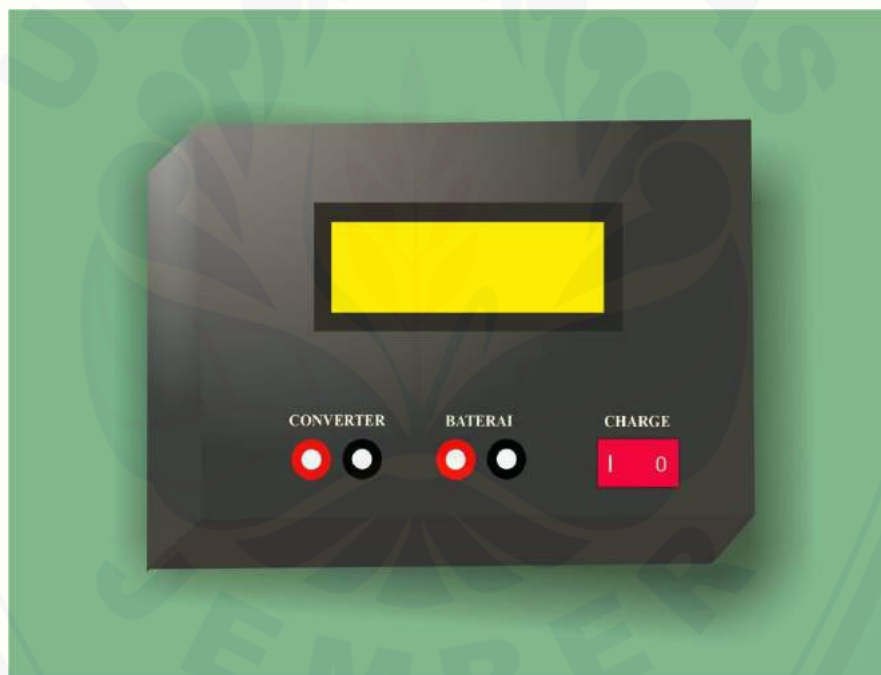
Pada gambar 3.10 terdapat beberapa komponen utama yang akan digunakan untuk baterai level indikator diantaranya yaitu arduino nano, relay, sensor tegangan dan LCD. Arduino digunakan sebagai mikrokontroler yang akan mengontrol sistem dan yang akan memberi keputusan untuk menampilkan kapasitas baterai saat charging atau tidak. Kemudian level baterai akan ditampilkan pada LCD.



Gambar 3.11 Flowchart Baterai Level Indikator

Cara kerja dari rangkaian level baterai tersebut akan diberikan logika 1 atau 0, baterai dalam keadaan *charging* atau tidak. Pada saat baterai tidak

charging, pembacaan sensor tegangan akan dirubah menjadi ADC oleh mikrokontroler arduino. Kemudian setelah diperoleh nilai ADC dikonversikan kembali menjadi level antara 0% sampai 100% dan ditampilkan di LCD. Sedangkan pada saat baterai dalam keadaan *charging*, relay yang awalnya pada kondisi NC (terhubung dengan konverter) akan menjadi NO untuk sementara dalam waktu 0,5 detik dan menuju proses sama seperti baterai pada saat tidak *charging*. Setelah diperoleh nilai tegangan, relay akan menghubungkan kembali konverter dengan baterai.pada kondisi ini sensor tegangan tidak bekerja dan membaca tegangan sebelumnya selama 30 menit. Berikut ini merupakan rencana desain baterai level indikator.



Gambar 3.12 Desain Baterai Level Indikator

3.5 Perancangan Mekanik Alat dan Keseluruhan Sistem



(a)



(b)

Gambar 3.13 Desain Alat 3D. Gambar (a) Merupakan desain tampak belakang, dan (b) Tampak depan

Pada gambar 3.13 merupakan desain alat keseluruhan. Dimana panel yang akan digunakan adalah yang terletak didepan Laboratorium Konversi Energi Listrik. Box rangkaian SEPIC konverter diletakkan pada tiang panel, sehingga ketika akan melakukan *charging* dapat langsung menyambungkan ke baterai sepeda listrik.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian yang berjudul “Rancang Bangun SEPIC Converter Dengan Metode MPPT *Incremental Conductance* Untuk Pengisian Baterai Sepeda Listrik Berbasis *Solar Cell*”, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Persentase *error* terkecil dari pengujian sensor tegangan untuk tegangan keluaran SEPIC *converter* berada pada tegangan 15.3 Volt yaitu sebesar 0,0 %, dan untuk *error* terbesar terdapat pada saat pengukuran tegangan yaitu sebesar 55 Volt dengan nilai *error* sebesar 0.5 %.
2. Nilai efisiensi tertinggi pada SEPIC *converter* dengan beban 330 Ω terdapat pada saat *duty cycle* 65 % dengan daya *input* 11.9 watt dan daya *output* sebesar 11.86 watt, sedangkan untuk efisiensi terendah terdapat saat *duty cycle* 10 % dengan nilai efisiensi yaitu 29 % dengan daya *input* sebesar 0.217 watt dan daya *output* 0.064 watt.
3. Pengisian baterai sepeda listrik 48 volt dengan kapasitas 12 Ah lebih cepat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Dimana pada penelitian kali ini total waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai sampai pada keadaan full adalah 8,75 jam.
4. Kestabilan tegangan dari SEPIC *converter* dengan menggunakan kontrol *fuzzy logic* saat diberikan beban resistif yang semakin kecil maka *recovery time* yang dibutuhkan akan semakin lama, begitu juga sebaliknya saat beban yang diberikan semakin besar maka *recovery time* semakin cepat. Dimana saat beban 50 Ω diperlukan *recovery time* 171 milideik, dan saat menggunakan beban 100 Ω diperlukan *recovery time* 105 milidetik.
5. Saat pengujian SEPIC *converter* menggunakan beban baterai sepeda listrik. Maka dapat diketahui bahwa tegangan awal *charge* akan mengikuti tegangan baterai yang kemudian akan menjadi naik hingga tegangan mencapai *setpoint* yaitu sebesar 55 Volt. Sedangkan untuk arus *charging* akan semakin turun

saat baterai semakin terisi penuh. Seperti yang terdapat pada tabel pengujian SEPIC *converter* dengan menggunakan beban baterai.

6. Terjadinya drop tegangan pada *input* SEPIC *converter* dikarenakan arus yang dibutuhkan untuk pengisian baterai sepeda listrik lebih besar, sehingga tegangan yang dihasilkan oleh panel surya akan semakin drop dan arus akan semakin naik. Pada awal pengisian tegangan *input* menjadi sebesar 32.6 Volt dan untuk arus *input* sebesar 4.47 Ampere.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian yang selanjutnya. Beberapa saran tersebut antara lain sebagai berikut.

1. DC-DC *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 SEPIC *converter* dan jenis dc-dc *converter* yang lain.
2. Kelemahan dari MPPT adalah tidak memiliki setpoint tegangan, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat digabungkan dengan metode yang lain, misalnya fuzzy MPPT atau PID MPPT.
3. Pengisian baterai sebaiknya menggunakan metode pengisian yang lain misalnya *constant current* pada saat awal pengisian. Dikarenakan jika menggunakan *constant voltage*, arus yang dibutuhkan terlalu besar. Pada saat baterai hampir penuh (80%) dapat digunakan *constant voltage* kembali.
4. Dalam penelitian selanjutnya dimungkinkan untuk menggunakan energi terbarukan yang lain, misalnya *wind turbin* atau lainnya.
5. Pada penelitian yang selanjutnya disarankan untuk menggunakan sensor arus op-amp, agar pembacaan sensor lebih stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdourraziq, Mohamed Amine, & Maaroufi, Mohamed. (2014). “ *A New Variable Step Size InC MPPT Method For PV System*”.*Department of Electrical Engineering. Agdal University, Maroco.*
- Anwar, Mohamad Choirul. (2017). “Implementasi DC/DC Tipe Sepic Pada Generator Termoelektrik Menggunakan Kontrol Mppt *Incremental Conductance (Inc)*”*Skripsi. Universitas Jember.*
- Arduino. (2015). *www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno*. Dipetik Agustus 08, 2018, dari *arduino.cc/en*.
- Aziz, Mochammad Al. (2018). “SistemKontrol Fuzzy Logic Untuk Tegangan Keluaran *Boost Converter* Pada Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan *Solar Cell*”. *Skripsi. Universitas Jember.*
- Chiang, S. J., & Shief, H.-J. (2009). Modeling and Control of PV Charger SystemWith SEPIC Converter. *IEEE Transaction On Industrial Electronics*,4344-4353.
- Citraningtyas, Irenne.(2017). “ Rancang Bangun *Charging Controller* Baterai 48 Volt DC pada *Solar Cell*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya : Tugas Akhir – D3 Teknik Instrumentasi
- ESDM, M. (2016). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pengesahan RUPLT PT. PLN tahun 2016 S.D. 2025*. Jakarta: MenteriESDM.
- Ian Laird, D. D.-C. (2013). High Step-Up DC/DC Topology and MPPT Algorithm for Use With a Thermoelectric Generator. *IEEE*, 28(7)
- Irwin, J. D. (2002). *The Power Electronic Handbook*. california: CRC Press.

- kominfo.go.id. (2016, november 25). *kementrian komunikasi dan informatika*. Retrieved from kominfo web: https://web.kominfo.go.id/sites/default/files/0510_Kebutuhan_Listrik_Indonesia_01_rsz.jpg
- Lokanadham, M., & Bhaskar, K. V. (2012). *Incremental conductance Based Maximum power point tracking (MPPT) for Photovoltaic System*. *IJERA*, 1420-1424.
- Ranjan, S. B., & Kumar, T. M. (2013). *Design of single ended primary inductor dc/dc converter*. india: National Institute of Technology.
- Rashid, M. H. (2001). *Power Electronics Handbook*. California: Academic Press.
- Rianti, Mawarni Shahab. (2010). "Rancang Bangun Prototipe Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai Dengan Tenaga Surya Sebagai Catu Daya BaseTranceiverStation (BTS)". *Skripsi*. Universitas Indonesia, Depok.
- S, S., & Joseph, J. (2016). Design and Implementation of SEPIC Converter based PV System Using Modified *Incremental conductance* Algorithm. *ICEEOT*.
- Tito, Beng.(2012)..“metode MPPT baru untuk sel surya berdasarkan pengendali *PP*”, *Skripsi*. Universitas Indonesia, Depok.
- Vorperian, V. (2006). *Analysis of SEPIC Converter*. Roswel: Ridley Engineering Inc.
- Weller. (2008). "Ag 2S quantum dot-sensitized solar cells". *Electronics communication*.
- William, I. C., & Ramesh, D. R. (2013). Comparative Stufy of P&O and InC.
- Zhang, D. (2013). *AN-1484 Designing A SEPIC Converter*. Texas Instrument.

LAMPIRAN**A. Listing Program Arduino****A1. Listing Program Converter**

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);
#include <PID_v1.h>
int pwmPin = 4; int ledPin = 13;
int analogInputo = A2;//v out
int analogInput = A1;//v in
const int analogIn = A3;//Iout
const int analogIn2 = A5;//Iin
int mVperAmp = 87; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int RawValue = 0;
int ACSoffset = 2500;
double Voltage = 0;
double aruso = 0;
double arusi = 0;
int val = 0; float vout = 0.0;
int vin = 0.0; float vino = 0.0;
int value = 0; int valueo = 0;
float vouto = 0.0;
float R1 = 10000.0; float R2 = 1050.0;
float R1o = 100000.0; float R2o = 2250.0;
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 200;
double Setpoint, Input, Output;
double Kp = .15, Ki = .3, Kd = 0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
float vil; float cel; float mw;
```

```
int tempPin = A4;
int pwm1 = 200, pwm1n = 0;
int maxpwm = 230, minpwm = 10;
float duty = 0;
float Po = 0, Pn = 0, Pi = 0;
float dP = 0, dV = 0, vin1 = 0, dI = 0, arusi1 = 0, vino1 = 0;
float ef = 0, ef1 = 0, dF = 0;
float setV = 50.0, setVi = 55.0;
float yb;

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  pinMode(pwmPin, OUTPUT); pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(analogIn, INPUT); //pinMode(arusout, INPUT);
  pinMode(analogInput, INPUT);
  TCCR0B = (TCCR0B & 0b11111000) | 0x01;
  analogWrite(pwmPin, 100);
  Serial.begin(9600);
  Input = analogRead(analogInput);
  Setpoint = 248; // adc 55 v
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  myPID.SetOutputLimits(0, 220);
}

void loop() {
  inc();
  tampil();
  Serial.println(String(vin) + " " + String(vino, 2) + " " + String(arusi) + " "
+ String(aruso));
```

```
}  
void inc() {  
    Input = analogRead(analogInputo);  
    myPID.Compute();  
    analogWrite(pwmPin, Output);  
    unsigned long currentMillis = millis();  
    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {  
        previousMillis = currentMillis;  
        digitalWrite(ledPin, !digitalRead(ledPin));  
    }  
}  
void arus() {  
    RawValue = analogRead(analogIn);  
    Voltage = (RawValue / 1024.0) * 5000;  
    aruso = ((Voltage - ACSoffset) / mVperAmp);  
    if (aruso < 0) {  
        aruso = 0;  
    }  
    arusi = aruso * 1.6;  
}  
void tegangan() {  
    value = analogRead(analogInput);  
    vout = (value * 5.0) / 1024.0;  
    vin = vout / (R2 / (R1 + R2));  
  
    valueo = analogRead(analogInputo);  
    vouto = (valueo * 5.0) / 1024.0;  
    vino = vouto / (R2o / (R1o + R2o));  
}  
void mpptinc() {  
    Pi = vin * arusi;
```

```
if (Pi <= 0) Pi = 0;

Po = vino * aruso;
if (Po <= 0) Po = 0;
dV = vin - vin1;
dI = arusi - arusi1;
dP = Pi - Pn;
ef = Po * 100 / Pi;//ambildata
if (dV == 0) {
  if (dI == 0)
  {
    vino1 = vin;
    arusi1 = arusi;
    return;
  }
  else if (dI != 0) {
    if (dI > 0) {
      pwm1--;
      pwm1n = pwm1;
      vino1 = vin;
      arusi1 = arusi;
      return;
    }
    else {
      pwm1 ++;
      pwm1n = pwm1;
      vino1 = vin;
      arusi1 = arusi;
      return;
    }
  }
}
```



```
}  
else {  
    if ((dI / dV) == -(aruso / vino)) {  
        vino1 = vin;  
        arusi1 = arusi;  
        return;  
    }  
    else {  
        if ((dI / dV) > -(aruso / vino)) {  
            pwm1 ++;  
            pwm1n = pwm1;  
            vino1 = vin;  
            arusi1 = arusi;  
            return;  
        }  
        else {  
            pwm1 --;  
            pwm1n = pwm1;  
            vino1 = vin;  
            arusi1 = arusi;  
            return;  
        }  
    }  
}
```

```
Pn = Pi;  
vino1 = vin;  
pwm1n = pwm1;  
if (pwm1 >= maxpwm) {  
    pwm1 = maxpwm;  
}
```

```
if (pwm1 <= minpwm) {
    pwm1 = minpwm;
}
analogWrite(pwmPin, pwm1);
duty = pwm1 / 255.0 * 100.0;
vin1 = vin;
}
void suhu() {
    vil = analogRead(tempPin);
    mw = ( vil / 1024.0) * 5000;
    cel = mw / 10;
}
void tampil() {
    yb = ((Output / 255) * 100) + 20;
    if (yb > 87) {
        yb = 87;
    }
    if (yb < 21) {
        yb = 0;
    }
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(vin);
    lcd.setCursor(2, 0);
    lcd.print("V ");
    lcd.setCursor(5, 0);
    lcd.print((arusi));
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print("A");
    lcd.setCursor(12, 0);
    lcd.print(yb);
```

```
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print(vino);  
lcd.setCursor(5, 1);  
lcd.print("V ");  
lcd.setCursor(7, 1);  
lcd.print(aruso, 3);  
lcd.setCursor(11, 1);  
lcd.print("A");  
lcd.setCursor(13, 1);  
lcd.print(cek);  
arus(); tegangan(); suhu();  
}
```

A2. Listing Program Level Baterai

```
int led = 3; int analogInput = A1;  
const int buttonPin = 4; int buttonState = 0;  
#include <Wire.h>  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);  
float R1 = 100000.0; float R2i = 7490; float R2 = 7250;  
float val = 0; float vout = 0.0; float v;  
float vin = 0.0; float vini = 0.0; float value = 0; int pr; int ps;  
unsigned long delayStart = 0;  
bool delayRunning = false; bool ledOn = false;  
unsigned long DELAY_TIME = 900000; // 15 Menit  
void setup() {  
  pinMode(led, OUTPUT); pinMode(buttonPin, INPUT); digitalWrite(led,  
  LOW);  
  ledOn = false;  
  Serial.begin(9600);  
  lcd.init(); lcd.backlight();
```

```
    delayStart = millis();
    delayRunning = true;
}
void batterylevel(int xpos, int ypos)
{
    value = analogRead(analogInput);
    vout = (value * 5.0) / 1024.0;
    v = vout / (R2i / (R1 + R2i));
    if (v > 50)
    {
        byte batlevel[8] = {
            B01110,
            B11111,
            B10001,
            B10111,
            B10011,
            B10111,
            B10111,
            B11111,
        };
        lcd.createChar(0 , batlevel);
        lcd.setCursor(xpos, ypos);
        lcd.write(byte(0));
    }
    if (v <= 50 && v > 49.15)
    {
        byte batlevel[8] = {
            B01110,
            B11111,
            B11111,
            B11111,
        };
    }
}
```

```
B11111,  
B11111,  
B11111,  
B11111,  
};  
lcd.createChar(0 , batlevel);  
lcd.setCursor(xpos, ypos);  
lcd.write(byte(0));  
}  
if (v <= 49.15 && v > 48.3)  
{  
    byte batlevel[8] = {  
        B01110,  
        B10001,  
        B11111,  
        B11111,  
        B11111,  
        B11111,  
        B11111,  
        B11111,  
        B11111,  
    };  
    lcd.createChar(0 , batlevel);  
    lcd.setCursor(xpos, ypos);  
    lcd.write(byte(0));  
}  
if (v <= 48.3 && v > 47.45)  
{  
    byte batlevel[8] = {  
        B01110,  
        B10001,  
        B10001,
```

```
B11111,  
B11111,  
B11111,  
B11111,  
B11111,  
};  
lcd.createChar(0 , batlevel);  
lcd.setCursor(xpos, ypos);  
lcd.write(byte(0));  
}  
if (v <= 47.45 && v > 46.6)  
{  
  byte batlevel[8] = {  
    B01110,  
    B10001,  
    B10001,  
    B10001,  
    B11111,  
    B11111,  
    B11111,  
    B11111,  
  };  
  lcd.createChar(0 , batlevel);  
  lcd.setCursor(xpos, ypos);  
  lcd.write(byte(0));  
}  
if (v <= 46.6 && v > 45.75)  
{  
  byte batlevel[8] = {  
    B01110,  
    B10001,
```

```
B10001,  
B10001,  
B10001,  
B11111,  
B11111,  
B11111,  
};  
lcd.createChar(0 , batlevel);  
lcd.setCursor(xpos, ypos);  
lcd.write(byte(0));  
}  
if (v <= 45.75 && v > 45)  
{  
    byte batlevel[8] = {  
        B01110,  
        B10001,  
        B10001,  
        B10001,  
        B10001,  
        B10001,  
        B11111,  
        B11111,  
    };  
    lcd.createChar(0 , batlevel);  
    lcd.setCursor(xpos, ypos);  
    lcd.write(byte(0));  
}  
if (v < 45)  
{  
    byte batlevel[8] = {  
        B01110,
```

```
B11111,  
B10001,  
B10111,  
B10011,  
B10111,  
B10001,  
B11111,  
};  
lcd.createChar(0 , batlevel);  
lcd.setCursor(xpos, ypos);  
lcd.write(byte(0));  
}  
}  
  
void charg() {  
  value = analogRead(analogInput);  
  vout = (value * 5.0) / 1024.0;  
  vini = vout / (R2i / (R1 + R2i));  
  //pr = (vini/48)*100;  
  pr = map(vini, 44, 50, 10, 100);  
  if (pr < 0) {  
    pr = 0;  
  }  
  if (pr > 100) {  
    pr = 100;  
  }  
  if (delayRunning && ((millis() - delayStart) >= DELAY_TIME)) {  
    delayStart += DELAY_TIME;  
    ledOn = !ledOn;  
    if (ledOn) {  
      digitalWrite(led, HIGH);  
    }  
  }  
}
```

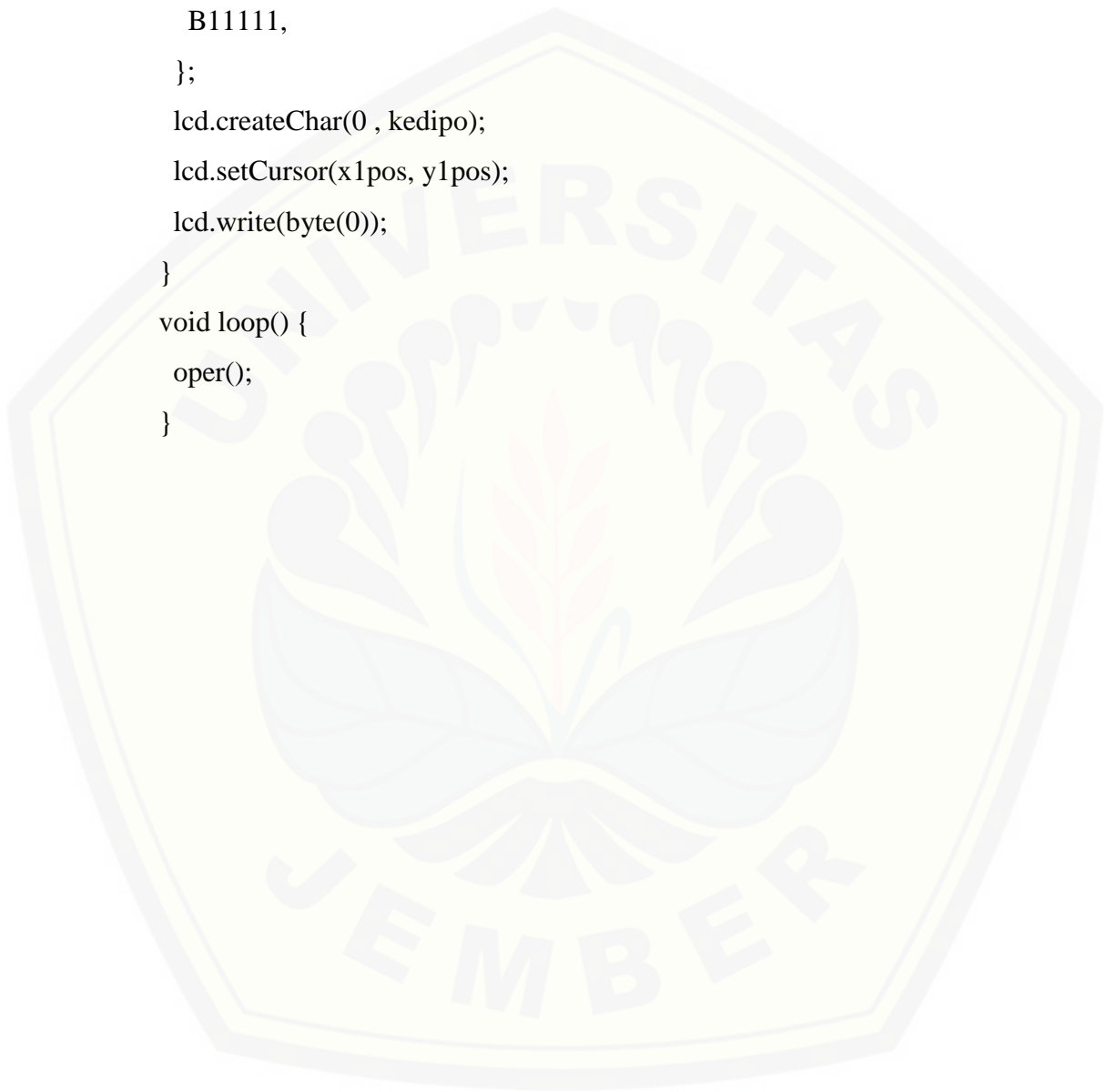


```
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("ukur");
Serial.println("baca v");
delay (2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(String("Level Bat=") + "" + String(pr) + "" + String("% ") );
Serial.println(vin);
batterylevel(15, 0);
lcd.setCursor(1, 1);
lcd.print("Vbat=");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(vini);//5 13
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print("volt");
digitalWrite(led, LOW);
}
}
}

void tidakcharg() {
  value = analogRead(analogInput);
  vout = (value * 5.0) / 1024.0;
  vin = vout / (R2 / (R1 + R2));
  //ps = (vin/48)*100;
  ps = map(vin, 44, 50, 10, 100);
  if (ps < 0) {
    ps = 0;
  }
  if (ps > 100) {
```

```
    ps = 100;
  }
  Serial.println(vin);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(String("Level Bat=") + "" + String(ps) + "" + String("% ") );
  Serial.println(vin);
  batterylevel(15, 0);
  lcd.setCursor(1, 1);
  lcd.print("Vbat=");
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print(vin); // 5 13
  lcd.setCursor(11, 1);
  lcd.print("volt");
  delay (500);
}
void oper() {
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  if (buttonState == HIGH) {
    digitalWrite(led, LOW);
    charg();
  }
  else {
    tidakcharg();
    digitalWrite(led, HIGH);
  }
}
void kedip (int x1pos, int y1pos) {
  byte kedipo[8] = {
    B01110,
    B11111,
    B11101,
```

```
B11011,  
B10001,  
B11011,  
B10111,  
B11111,  
};  
lcd.createChar(0 , kedipo);  
lcd.setCursor(x1pos, y1pos);  
lcd.write(byte(0));  
}  
void loop() {  
  oper();  
}
```



B. Lampiran Gambar

B1. Gambar Pengujian Karakteristik *solar cell*



B2. Gambar pengujian konverter menggunakan beban Resistor



B3. Gambar SEPIC Converter



B4. Gambar Pengujian konverter dengan beban baterai



B5. Gambar indikator level baterai

