



**RANCANG BANGUN DC – DC SEPIC CONVERTER DENGAN
KONTROL MPPT PADA PANEL SURYA BERBASIS PID**

SKRIPSI

Oleh

Febrian Tri WidiatMoko Putra

NIM 151910201042

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**RANCANG BANGUN DC – DC SEPIC CONVERTER DENGAN
KONTROL MPPT PADA PANEL SURYA BERBASIS PID**

SKRIPSI

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

Oleh

Febrian Tri WidiatMoko Putra

NIM 151910201042

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

2020

PERSEMBAHAN

Puji syukur semoga tetap dan selalu terpanjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Maha Segala-Nya yang dengan Segala Kebaikan dan Kasih Sayang-Nya telah memberikan nikmat yang tak ternilai harganya yaitu ilmu, rizqi, dan kesehatan. Oleh karenanya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat dan tanggung jawab terhadap gelar yang nantinya akan diperoleh. Syukur tersebut tentu juga tak lepas dari rasa syukur kepada manusia yang baik hatinya sehingga dalam proses pengerjaan skripsi ini banyak sekali pertolongan, kebaikan, dan semangat yang didapatkan dari salah satu bentuk kepedulian mereka terhadap penulis. Untuk itu persembahkan ini penulis berikan kepada :

1. Kedua Orang Tua penulis yaitu Ayahanda Almarhum Bapak Sukarman dan Ibunda Listitah tercinta yang dengan segala ketulusannya tak pernah bosan dalam mendoakan, memberi petunjuk, memberi dukungan, dan bahkan memberikan segalanya yang mereka punya kepada penulis sehingga penulis sampai pada tahap akhir yaitu dapat menyelesaikan tugas skripsi dengan baik dan lancar. Penulis menyadari bahwa tak mungkin ada alasan yang bahkan mendekati kata pantas dalam membalas segala kebaikan mereka berdua, kecuali Sang Maha Membalas Kebaikanlah yang dapat menggantikannya dengan balasan yang jauh lebih baik dari yang penulis dapat lakukan.
2. Bapak Dosen Pembimbing Utama Bapak Dr. Bambang Srikaloko, S.T., M.T. serta Bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak Ir. Widyono Hadi, M.M. atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing penulis menyelesaikan skripsi ini.
3. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Keluarga besar Laboratorium Sistem Kendali dan Laboratorium Sistem Tenaga Seluruh Asisten yang banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Seluruh dulur Elektro 2015 yang telah memberikan dukungan dan doanya.

MOTTO

*“Hai, orang – orang beriman, jadikanlah
sabar dan sholat sebagai penolongmu,
seseungguhnya Allah beserta orang - orang yang sabar”*
(QS. Al – Baqarah : 153)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”
(QS. Al - Insyirah : 5)

*“Bagi siapa menempuh jalan untuk menuntut ilmu,
maka Allah akan memudahkan jalannya ke syurga.
Sesungguhnya para malaikat meletakkan sayapnya kepada penuntut ilmu
karena senang dengan yang ia tuntut”*
(Hadits Riwayat IbnuMajah)

*“Jika anda ingin menemukan rahasia alam semesta,
Pikirkanlah energi, frekuensi, dan getarannya”*
(Nicola Tesla)

*“Sendirian, itulah rahasia penemuan;
Sendirian, saat itulah ide – ide lahir.”*
(Nicola Tesla)

*“Ilmu adalah yang bermanfaat (dengan diamalkan),
bukan hanya yang dihafalkan”*
Abu Abdullah Muhammad asy-Syafi'i

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Febrian Tri WidiatMoko Putra

NIM : 151910201042

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “**Rancang Bangun DC – DC Sepic Converter Dengan Kontrol MPPT Pada Panel Surya Berbasis PID**” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 31 Januari 2020

Yang menyatakan,

FEBRIAN TRI WIDIATMOKO PUTRA

151910201042

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN DC – DC SEPIC CONVERTER DENGAN
KONTROL MPPT PADA PANEL SURYA BERBASIS PID**

Oleh

Febrian Tri WidiatMoko Putra

NIM 151910201042

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Widyono Hadi, MT

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun DC – DC Sepic Converter Dengan Kontrol MPPT Pada Panel Surya Berbasis PID” karya Febrian Tri WidiatMoko Putra telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 29 Januari 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

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

Ir. Widyono Hadi, MT
NIP 196104141989021001

Penguji I,

Penguji II,

Suprihadi Prasetyono, ST.,MT
NIP 197004041996011001

Samsul Bachri M., S.T., MMT.
NIP 196403171998021001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T
NIP 197008261997021001

RINGKASAN

RANCANG BANGUN DC – DC SEPIC CONVERTER DENGAN KONTROL MPPT PADA PANEL SURYA BERBASIS PID; FEBRIAN TRI WIDIATMOKO PUTRA, 151910201042; 2020; 100 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Konsumsi listrik di Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi nasional, penambahan penduduk serta konsumsi energi masyarakat. Ditambah ketergantungan Indonesia pada energi fosil membuat energi minyak bumi dalam negeri menjadi menurun drastis sejak 2001 silam. Keadaan ini didorong oleh kebutuhan yang terus naik dan tumbuhnya sektor industri di Indonesia. Ketergantungan energi fosil ini masih didominasi oleh kebutuhan minyak yang mencapai 41.8%, disusul batu bara 29% dan gas 23%. Kebutuhan yang sangat besar ini ternyata tidak bisa dipotong oleh cadangan energi yang kian menipis. Cadangan minyak misalnya, hanya cukup 23 tahun lagi terhitung 2014, sedangkan cadangan gas masih cukup sampai 50 tahun kedepan dan batu bara 80 tahun kedepan.

Oleh sebab itu, perlu dirancang sebuah alat konverter yang dapat mengubah sebuah tegangan keluaran dari panel surya, dari tegangan kecil menjadi tegangan yang besar dan juga dari tegangan besar menjadi tegangan kecil, untuk mencapai hal tersebut maka digunakan dc – dc jenis *sepic converter*. *sepic converter* sangat efektif untuk mengisi baterai dengan panel PV. *SEPIC* adalah jenis dc – dc konverter yang memungkinkan output tegangan lebih besar dari atau kurang dari tegangan, input, output dari *SEPIC* dikendalikan oleh duty cycle dari kontrol MOSFET.

Dari permasalahan tersebut untuk meningkatkan efisiensi dari panel surya maka dibuat alat yaitu “RANCANG BANGUN DC - DC *SEPIC CONVERTER* DENGAN KONTROL MPPT(P&O) PADA PANEL SURYA BERBASIS PID” *sepic converter* adalah konverter DC ke DC dan mampu beroperasi baik dalam keadaan naik atau turun dan banyak digunakan dalam peralatan yang dioperasikan

dengan baterai dengan memvariasikan duty cycle sinyal gerbang MOSFET. Untuk menghasilkan respon tegangan *output* yang stabil dari switching maka di gunakan sistem kontrol MPPT *PID* untuk menentukan parameter steady state dan memperbaiki set point. Sehingga semua daya yang terserap pada beban, sehingga efisiensi daya *sepic converter* akan bernilai menjadi 100%.

Pada penelitian ini dilakukan dua perlakuan untuk optimalisasi dan pencarian daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh Panel Surya berkapasitas 50 WP. Dua perlakuan optimalisasi daya tersebut yaitu terdiri dari optimalisasi daya dan optimalisasi tegangan. Pada penelitian ini, optimalisasi daya dinamis dilakukan dengan cara scanning atau melacak titik daya tertinggi. Proses ini dilakukan untuk menambahkan nilai iradiasi yang ada pada panel surya karena sinar matahari yang menimpa panel surya tidak selalu tegak lurus dengan panel. Proses *scanning* dilakukan setiap 15 menit untuk mengetahui titik daya tertinggi oleh sinar matahari, sehingga dengan pengaturan ini cahaya matahari yang datang dapat maksimalkan daya keluaran. Variabel yang menjadi acuan dasar untuk proses scanning ini yaitu jumlah intensitas cahaya matahari, untuk dilakukan dengan perhitungan dan perbandingan terhadap daya sekarang di kurangi dengan daya sebelumnya. Hasil dari pengoptimalan scanning ini ditunjukkan dengan rata – rata nilai iradiasi saat menggunakan MPPT sebesar 25,396 W/m², dan pada saat tidak menggunakan MPPT sebesar 20,320 W/m². Perbedaan nilai iradiasi ini juga berpengaruh pada daya output yang dihasilkan, rata – rata daya output pada saat menggunakan MPPT sebesar 31,58 Watt, pada saat tanpa menggunakan reflektor daya output yang dihasilkan sebesar 26,98 Watt.

Optimalisasi daya statis pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan konsep *Maximum Power Point Tracking*. Perancangan MPPT ini terdiri dari *boost converter* sebagai pengatur untuk menaikkan nilai tegangan yang diberikan pada beban Rmp. Pengaturan ini dilakukan dengan memberikan sinyal pulsa PWM pada *driver sepic converter*. Perancangan *sepic converter* terdiri atas Induktor, Mosfet, Dioda, Kapasitor, dan beban Rmp. Definisi MPPT yaitu sebuah metode untuk mencari titik nilai daya maksimal yang dapat dihasilkan panel surya dengan berbagai perubahan nilai iradiasi. Analisis daya maksimal tersebut

dilakukan dengan menggunakan algoritma *Perturb and Observe*. Analisis algoritma ini berdasar grafik karakteristik Daya – Tegangan (P-V) dengan berbagai macam nilai iradiasi. Pada grafik tersebut terdapat titik puncak yang disebut MPP (*Maximum Power Point*), titik inilah yang menjadi titik acuan untuk mencapai daya maksimal. Ketentuan untuk mencapai titik tersebut adalah saat nilai error (e) = 0, nilai error dapat dicari dengan ketentuan Perubahan Daya (ΔP) dibagi dengan Perubahan Tegangan (ΔV).

Hasil dari analisis algoritma *Perturb and Observe* yang berupa nilai error tersebut selanjutnya akan diproses lagi dengan perubahan nilai error pembacaan saat ini dengan pembacaan error sebelumnya, Kriteria yang harus dipenuhi untuk mencapai daya maksimal yaitu $e = 0$, namun pada saat terjadi $e > 0$ maka untuk mencapai nilai MPP nilai *duty cycle* harus dikurangi sehingga nilai *error* bisa sama dengan 0. Begitu sebaliknya saat nilai $e < 0$, untuk mencapai nilai MPP nilai *duty cycle* harus ditambahkan sehingga nilai error bernilai sama dengan 0.

Hasil pengujian keseluruhan sistem MPPT Dari data yang di peroleh dapat dilihat pada setiap waktu dengan intensitas cahaya sebesar 536 Lux dengan kontrol MPPT PID didaparka daya sebesar 15,358 Watt. Kemudian ketika tanpa menggunakan kontrol MPPT PID daya yang di dapat lebih rendah yaitu sebesar 14,824 Watt. Hal ini terjadi karena pada saat pengujian keseluruhan menggunakan MPPT PID dapat melacak titik daya tertinggi yang di capai oleh panel surya. Berikut ini merupakan grafik perbandingan daya output pengujian keseluruhan dengan MPPT dan tanpa MPPT.

SUMMARY

DC - DC SEPIC CONVERTER DESIGN WITH MPPT CONTROL IN PID-BASED PANELSURYA; FEBRIAN TRI WIDIATMOKO SON, 151910201042; 2020; 100 pages; Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Electricity consumption in Indonesia continues to increase every year in line with increasing national economic growth, population growth and community energy consumption. Plus Indonesia's dependence on fossil energy has made domestic petroleum energy to decline dramatically since 2001 ago. This situation was driven by the growing need and growing industrial sector in Indonesia. The dependence on fossil energy is still dominated by oil demand which reached 41.8%, followed by coal 29% and gas 23%. This huge need turns out to not be able to be cut by energy reserves which are running low. Oil reserves, for example, are only 23 years away from 2014, while gas reserves are still sufficient for the next 50 years and coal for the next 80 years.

Therefore, it is necessary to design a converter that can convert an output voltage from the solar panel, from a small voltage to a large voltage and also from a large voltage to a small voltage, to achieve this the dc - dc type of sepic converter is used. Sepic converter is very effective for filling batteries with PV panels. SEPIC is a type of dc-dc converter that allows an output voltage greater than or less than the voltage, the input, the output of the SEPIC is controlled by the duty cycle of the MOSFET control.

From these problems to improve the efficiency of solar panels, a tool called "DESIGNING DC-DC SEPIC CONVERTER WITH MPPT (P&O) CONTROLS ON PID-BASED SOLAR PANELS" Sepic converter is a DC to DC converter and is able to operate both up or down. and is widely used in battery-operated equipment by varying the duty cycle of the MOSFET gate signal. For produce a stable output voltage response from switching then the MPPT PID control system is used to determine the steady state parameters and improve the set point. So that

all the power absorbed in the load, so that the efficiency of the power sepic converter will be worth 100%.

In this study two treatments were carried out to optimize and search for the maximum power that can be produced by a Solar Panel with a capacity of 50 WP. The two power optimization treatments consist of power optimization and voltage optimization. In this study, dynamic power optimization is done by scanning or tracking the highest power points. This process is done to add to the existing irradiation value of the solar panel because the sunlight that hits the solar panel is not always perpendicular to the panel. The scanning process is carried out every 15 minutes to find the highest power point by sunlight, so that with this arrangement the incoming sunlight can maximize the output power. The variable that is the basic reference for this scanning process is the amount of sunlight intensity, to be done with calculations and comparisons of the current power reduced by the previous power. The results of this scanning optimization are shown by the average irradiation value when using MPPT of 25.396 W / m^2 , and when not using MPPT of 20.320 W / m^2 . This difference in irradiation value also affects the output power produced, the average output power when using MPPT is 31.58 Watt, when without using the reflector the output power is 26.98 Watt.

Optimization of static power in this study was carried out using the concept of Maximum Power Point Tracking. This MPPT design consists of a boost converter as a regulator to increase the value of the voltage applied to the Rmp load. This setting is done by providing a PWM pulse signal to the sepic converter driver. The design of the sepic converter consists of Inductor, Mosfet, Diode, Capacitor, and Rmp load. MPPT definition is a method to find the maximum value of the point that solar panels can produce with various changes in irradiation values. The maximum power analysis is carried out using the Perturb and Observe algorithm. The analysis of this algorithm is based on the Power-Voltage (P-V) characteristic chart with various irradiation values. On the graph there is a peak point called the MPP (Maximum Power Point), this point is the reference point to achieve maximum power. The requirement to reach that point is when the error

value (e) = 0, the error value can be searched with the Change of Power (ΔP) condition divided by the Change of Voltage (ΔV).

The results of the analysis of the Perturb and Observe algorithm in the form of the error value will then be processed again with changes in the current reading error value with the previous error reading, the criteria that must be met to achieve maximum power is $e = 0$, but when $e > 0$ occurs then for reach the MPP value the duty cycle value must be reduced so that the error value can be equal to 0 and vice versa when the value $e < 0$, to reach the MPP value the duty cycle value must be added so that the error value is equal to 0.

The overall MPPT system test results From the data obtained can be seen at any time with a light intensity of 536 Lux with MPPT PID control obtained power of 15,358 Watt. Then when without using MPPT PID control the power can be lower that is equal to 14,824 Watt. This happens because during the whole test using MPPT PID can track the highest power point achieved by the solar panel. The following is a comparison chart of the overall test output power with MPPT and without MPPT.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “RANCANG BANGUN DC -DC SEPIC CONVERTER DENGAN KONTROL MPPT PADA PANEL SURYA BERBASIS PID”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menuntaskan 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 terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas kemurahan-Nya saya dapat menuntaskan skripsi ini.
2. Nabi Muhammad SAW, Nabi junjungan umat Islam yang telah menarik kami dari zaman jahiliyah ke zaman yang lebih baik.
3. Kedua orang tua saya, Almarhum bapak Sukarman dan ibu Listitah yang telah membantu baik moral atau materil serta doa yang tidak pernah putus. Untuk My Brother Khoirul Ony & Koko Henry
4. Buat Iis wahyuningsih yang selalu ada untuk memberi motivasi dan semangat buat mengerjakan skripsi ini.
5. Sahabat – sahabat Sontrakan dan Warga Lab Patrang yang sudah memberi semangat.
6. Dosen pembimbing utama bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. serta bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. Dosen penguji bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. dan bapak Samsul Bachri M, S.T., M.T. yang selalu memberikan arahan dalam penelitian ini.
7. Bapak Andi Setiaawan, S.T., M.T. yang meskipun bukan dosen pembimbing tapi selalu memberikan bimbingannya, tak hanya membimbing secara akademis, tapi beliau membimbing secara moril dengan pengalaman beliau yang sangat luar biasa.
8. Keluarga Besar Asisten Laboratorium Sistem Kendali, Laboratorium Sistem Tenaga, dan Laboratorium Sistem Kendali.

9. Keluarga Teknik Elektro 2015 “D15TORSI” yang sudah menemani saya berproses selama menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Jember.
10. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa.
11. Keluarga besar ROBOTIKA yang telah memberikan banyak pengetahuan tentang pengembangan soft skill dan pengalaman yang luar biasa.
12. Guru-guru yang telah membimbing saya mulai dari taman kanak-kanak sampai sekolah menengah.

Penulis juga menerima semua kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 31 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	xiv
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
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 Panel Surya	4
2.2.1 Karakteristik Panel Surya	5
2.2.2 Kurva I-V Sel Surya	5
2.2.3 Arus Hubung Singkat Pada Panel Surya	6
2.3 Sepic Converter	8
2.3.1 Kondisi Saklar Tertutup	9
2.3.2 Parameter perancangan SEPIC Converter	11

2.4	Arduino Uno R3.....	12
2.5	PWM.....	14
2.6	Sensor Arus ACS 712	14
2.7	Sensor Tegangan DC.....	15
2.8	RTC	16
2.9	Data <i>Logger</i>	17
2.10	LCD.....	17
2.11	Batterai VRLA	18
2.11.1	<i>Charging</i>	19
2.11.2	<i>Discharging</i>	19
2.12	Sistem Kontrol <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT).....	19
2.12.1	<i>Metode Perturbe & Obsereve</i>	21
2.13	Kontrol PID.....	22
2.13.1	Menentukan Parameter <i>PID</i>	23
BAB 3.	METODE PENELITIAN	25
3.1	Metode Penelitian	25
3.2	Jenis dan Pengumpulan Data	25
3.2.1	Pengumpulan Data.....	25
3.2.2	Kerangka Pemecahan Masalah	26
3.2.3	Diagram Blok Alat.....	28
3.3	Perancangan Komponen Pengendali.....	29
3.3.1	Perancangan Panel Surya.....	29
3.3.2	Perancangan <i>Sepic Converter</i>	30
3.3.3	Rangkaian Driver	33
3.3.4	Perencanaan Sensor Tegangan.....	33
3.3.5	Perencanaan Batterai.....	35
3.5.6	Perencanaan Metode Perturbe & Observe	36
3.5.7	Metode Manual Tunning (<i>trial and error</i>)	38
3.5.8	Desain Rancang Bangun Secara Keseluruhan	42
BAB 4.	HASIL PENELITIAN	43
4.1	Pengujian Karakteristik Panel Surya 50 WP	43

4.2	Pengujian Sensor Tegangan.....	47
4.3	Pengujian Sensor Arus.....	49
4.4	Pengujian Sinyal PWM	51
4.5	Analisa Hasil <i>Sepic Converter</i>	53
4.5.1	Hasil <i>Sepic Converter</i>	53
4.5.2	<i>Sepic Converter</i> tanpa Beban.....	55
4.5.3	Pengujian <i>Sepic Converter</i> Dengan Beban.....	58
4.6	Analisa Pengujian MPPT.....	64
4.7	<i>Manual Tuning PID (Trail and error)</i>	70
4.8	Pengujian Secara Keseluruhan.....	71
4.9	Analisis Perbandingan Pengujian Keseluruhan.....	76
BAB 5. PENUTUP	78
5.1	Kesimpulan	78
5.2	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	82

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 <i>Datasheet</i> Panel Surya 50 WP <i>Polycrystalline</i>	7
2.2 Spesifikasi Arduino Uno R3	13
2.3 Karakteristik masing – masing kontrol PID.....	23
3.1 Spesifikasi Panel Surya 50 wp	29
3.2 Parameter DC/DC SEPIC Converter.....	30
3.3 Respon Kontrol Proposional	38
3.4 Respon Kontrol Proposional & Differensial.....	39
3.5 Respon Kontrol Proposional, Integral & Differensial.....	40
4.1 Hasil Karakteristik Panel Surya	44
4.2 Data Hasil Pengujian Sensor Tegangan	47
4.3 Data Hasil Pengujian Sensor Arus	49
4.4 Hasil Pengujian <i>Pulse Width Modulation</i>	52
4.5 Spesifikasi Komponen <i>Sepic Converter</i>	54
4.6 Parameter DC/DC SEPIC Converter	55
4.7 Pengujian <i>Sepic</i> Tanpa Beban.....	56
4.8 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Tegangan Output.....	58
4.9 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Arus Output.....	60
4.10 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Daya Output	61
4.11 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Efisiensi.....	63
4.12 Hasil Pengujian MPPT dengan variasi beban	65
4.13 Proses MPPT Mencari Titik Daya Maksimum	67
4.14 Algoritma MPPT P & O.....	69
4.15 Respon Kontrol PID.....	70
4.16 Data Pengujian Dengan Kontrol PID.....	70
4.17 Data Pengujian Charger Pada Hari Pertama	72
4.18 Data Pengujian Charger Pada Hari Kedua	74
4.19 Pengujian Dengan MPPT PID.....	77
4.20 Pengujian Tanpa Kontrol	77

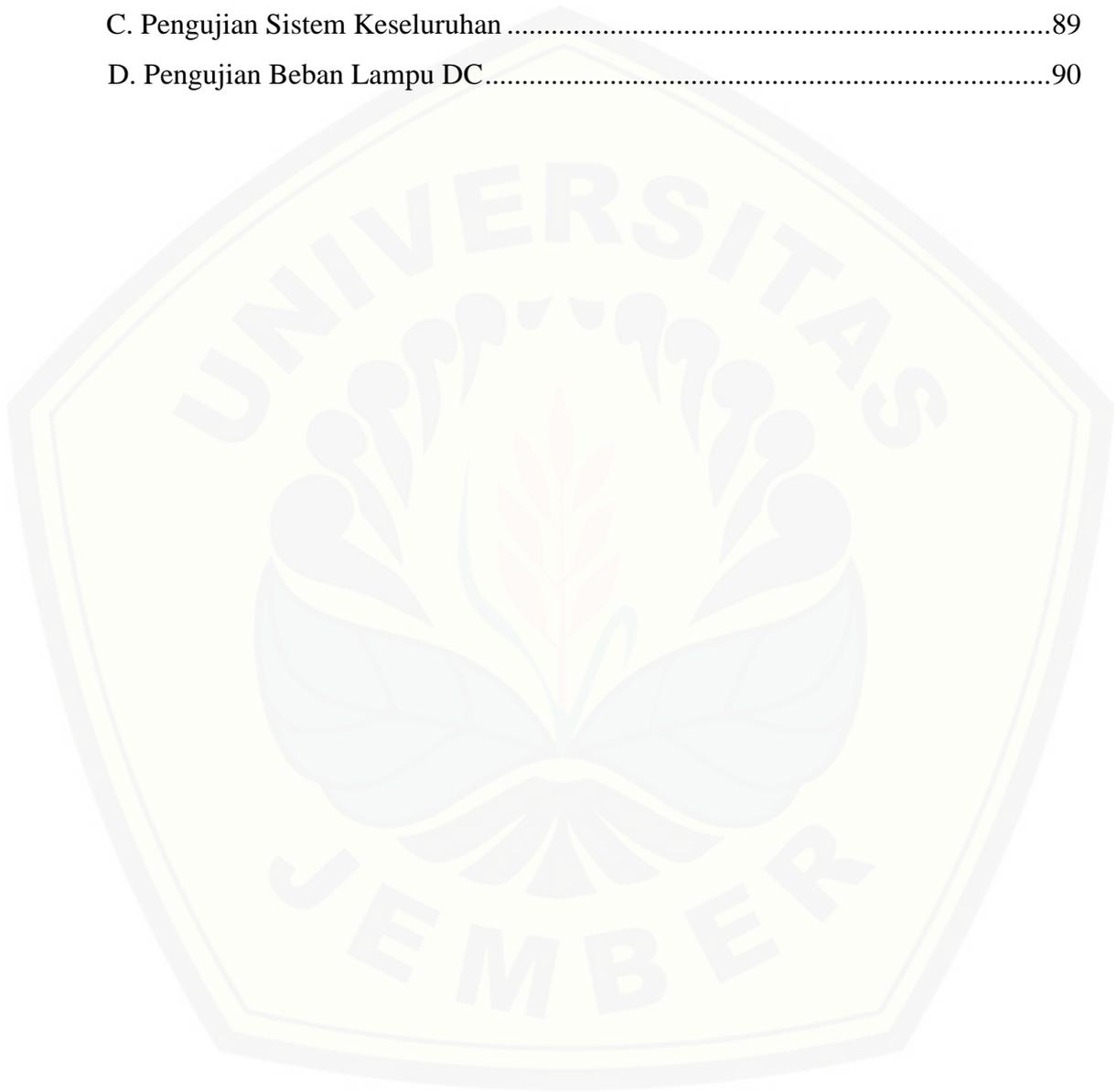
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Karakteristik Sel Surya.....	5
2.2 Panel Surya 50 WP <i>Polycrystalline</i>	7
2.3 Rangkaian <i>SEPIC</i>	8
2.4 <i>SEPIC Converter</i> Kondisi <i>ON</i>	10
2.5 <i>SEPIC Converter</i> Kondisi <i>OFF</i>	10
2.6 Sinyal Switching MOSFET Sepic Converter.....	11
2.7 Bentuk Fisik Arduino Uno R3	13
2.8 Lebar <i>Pulse Width Modulation</i>	14
2.9 Modul ACS 712	15
2.10 Rangkaian Sensor Tegangan	16
2.11 Modul <i>Real Time Clock</i> (<i>RTC</i>) DS1307	16
2.12 <i>Micro SD Data Logger</i>	17
2.13 <i>LCD (Liquid Crystal Display)</i>	17
2.14 Battery VRLA 12V 7,2 Ah.....	18
2.15 Blok Diagram Pengendali MPPT.....	20
2.16 Posisi Kurva Daya Sel Surya.....	21
2.17 Blok Diagram PID	22
3.1 Flowchart Penelitian.....	26
3.2 Blok Diagram Sistem	28
3.3 Panel Surya 50 WP.....	30
3.4 Rangkaian <i>SEPIC Converter</i>	30
3.5 Rangkaian Driver <i>Mosfet</i>	33
3.6 Rangkaian Sensor Tegangan	34
3.7 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan	35
3.8 Flowchat P & O.....	37
3.9 Respon Kontrol Proposional Nilai Kp	39
3.10 Respon Kontrol Proposional Nilai Kd.....	40
3.11 Respon Kontrol Proposional Nilai Ki	41

3.12 Design Alat Secara Keseluruhan.....	42
4.1 Grafik pengaruh Waktu terhadap Daya.....	46
4.2 Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor dengan Multimeter.....	48
4.3 Grafik Pengujian Sensor Arus.....	51
4.4 Perancangan <i>Sepic Converter</i>	53
4.5 Grafik pengaruh perubahan duty cycle	57
4.6 Pengaruh Duty Cycle Terhadap Keluaran Saat Berbeban	59
4.7 Pengaruh Duty Cycle Terhadap Arus.....	61
4.8 Pengaruh duty cycle terhadap daya keluaran berbeban	62
4.9 Pengaruh Duty Cycle Terhadap Efisiensi	64
4.10 Perbandingan V_{in} , V_{out} , dan P_{out} dengan variasi beban	65
4.11 Perubahan Tegangan dan daya untuk mencapai titik MPPT.....	68
4.12 Grafik Hasil Parameter PID	71
4.13 Grafik Perbandingan Daya Input dan Daya Output Hari Pertama.....	73
4.14 Grafik Perbandingan Daya Input dan Daya Output Hari Kedua.....	75
4.15 Grafik Perbandingan Tegangan Input dan Tegangan Output.....	76
4.16 Grafik Perbandingan Daya Output Dengan MPPT dan Tanpa MPPT.....	78
4.17 Grafik Perbandingan Tegangan Dengan Kontrol dan Tanpa Kontrol.....	79

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Pengujian PWM	88
B. Hasil Desain Sepic Converter.....	89
C. Pengujian Sistem Keseluruhan	89
D. Pengujian Beban Lampu DC.....	90



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Konsumsi listrik di Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi nasional, penambahan penduduk serta konsumsi energi masyarakat. Ditambah ketergantungan Indonesia pada energi fosil membuat energi minyak bumi dalam negeri menjadi menurun drastis sejak 2001 silam. Keadaan ini didorong oleh kebutuhan yang terus naik dan tumbuhnya sektor industri di Indonesia. Ketergantungan energi fosil ini masih didominasi oleh kebutuhan minyak yang mencapai 41.8%, disusul batu bara 29% dan gas 23%. Kebutuhan yang sangat besar ini ternyata tidak bisa di potong oleh cadangan energi yang kian menipis. Cadangan minyak misalnya, hanya cukup 23 tahun lagi terhitung 2014, sedangkan cadangan gas masih cukup sampai 50 tahun kedepan dan batu bara 80 tahun kedepan. (Kepala Badan Geologi Kementerian ESDM, 2014).

Energi listrik merupakan kebutuhan primer untuk menunjang hampir semua aktivitas manusia di zaman modern selain itu dapat di gunakan sebagai penerangan jalan, penerangan rumah, fasilitas umum, keperluan rumah tangga, keperluan industri dan perkantoran. Di Indonesia konsumsi tenaga listrik per kapita dan per pelanggan setiap tahunnya terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2017 dengan jumlah penduduk 255.461.700 jiwa jumlah konsumsi tenaga listrik sebesar 232.520.00 MWh. (Statistik ketenagaan listrik 2015).

Sel surya merupakan salah satu energi alternatif yang terbuat dari bahan semikonduktor yang dapat merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan konsep fotovoltaik. Di Indonesia pengguna energi surya masih sedikit, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menghasilkan listrik relatif sedikit di bandingkan dengan pembangkit lainnya yaitu pada tahun 2013-2015 sebesar 8,96 MW. Panel surya sendiri mempunyai efisiensi yang relatif kecil sekitar <40% dikarenakan tidak semua energi dari sinar matahari dapat diterima p-n junction yang mempunyai prinsip kerja mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, sehingga sebagian energi sinar matahari akan terbuang sia-sia menjadi panas. Dikarenakan pengaruh dari cuaca yang menyebabkan besar radiasi sinar matahari tidak tertentu akibatnya tegangan

keluaran dari panel surya tidak konstan. Ketika hasil arus dan tegangan keluaran dari panel surya tidak konstan digunakan untuk charger, maka akan berdampak kerusakan pada baterai. (Statistik Ketenagaan Listrik, 2015).

Oleh sebab itu, perlu di rancang sebuah alat konverter yang dapat mengubah sebuah tegangan keluaran dari panel surya, dari tegangan kecil menjadi tegangan yang besar dan juga dari tegangan besar menjadi tegangan kecil, untuk mencapai hal tersebut maka di gunakan dc – dc jenis *sepic converter*. *sepic converter* sangat efektif untuk mengisi batterai dengan panel PV. SEPIC adalah jenis dc – dc konverter yang memungkinkan output tegangan lebih besar dari atau kurang dari tegangan, input, output dari SEPIC di kendalikan oleh duty cycle dari kontrol MOSFET (2011, IEEE International Conference).

Dari permasalahan tersebut untuk meningkatkan efisiensi dari panel surya maka di buat alat yaitu “RANCANG BANGUN DC - DC *SEPIC CONVERTER* DENGAN KONTROL MPPT(P&O) PADA PANEL SURYA BERBASIS PID” *sepic converter* adalah converter DC ke DC dan mampu beroperasi baik dalam keadaan naik atau turun dan banyak di gunakan dalam peralatan yang dioperasikan dengan baterai dengan memvariasikan duty cycle sinyal gerbang MOSFET. Untuk menghasilkan respon tegangan *output* yang stabil dari switching maka di gunakan sistem kontrol MPPT *PID* untuk menentukan parameter steady state dan memperbaiki set point. Sehingga semua daya yang terserap pada beban, sehingga efisiensi daya *sepic converter* akan bernilai menjadi 100%.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara membuat dan merancang DC-DC *sepic converter* pada *solar charger* untuk kontrol tegangan keluaran panel surya ?
2. Bagaimana pengaruh kontrol MPPT untuk mengontrol kestabilan tegangan keluaran DC – DC *sepic Converter* pada *solar charger* dengan kontrol PID ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang di gunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Panel surya yang digunakan sbesar 50 wp polycrystalline.
2. Analisa dititik beratkan pada tegangan keluaran panel surya dan tegangan keluaran DC-DC *sepic converter*.
3. Pengujian DC-DC *sepic converter* untuk *charger battery*.
4. Tidak membahas tentang kelembaban,suhu,dan kemiringan pada panel surya.
5. Battery yang di gunakan 12 volt 7,2 Ah.
6. Untuk menentukan nilai Maximum Power Point Tracking (P&O) berbasis PID.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Membuat rancang bangun DC-DC SEPIC converter pada solar charger.
2. Dapat menerapkan sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan kontrol PID pada keluaran DC-DC SEPIC converter sehingga memperoleh tegangan yang stabil.

1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Untuk memperbaiki tegangan keluaran pada solar charger.
2. Untuk memberikan pandangan kepada masyarakat bahwa dari energi alam seperti matahari harus di manfaatkan secara maksimal, karena energi matahari merupakan energi yang terus ada untuk mmembangkitkan energi listrik dan merupakan inovasi untuk mengatasi kebutuhan energi namun dengan skala kecil.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada tinjauan pustaka ini akan menjelaskan mengenai beberapa kajian teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diuji sehingga permasalahan tersebut dapat dipecahkan baik menggunakan teori yang ada sebagai acuan dasar analisis data. Pada tinjauan pustaka ini juga akan membahas bagaimana komponen-komponen yang digunakan dalam rancang bangun ini sehingga komponen tersebut dapat diimplementasikan pada penelitian ini. Berdasarkan hal-hal tersebut maka dapat dijelaskan dengan bahasan dibawah ini, yaitu antara lain :

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait ini adalah pengembangan dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh saudara Gyan Septian (2014). Pada penelitian ini mengenai sistem pengisian baterai menggunakan *solar cell* dengan judul penelitian “Rancang Bangun DC-DC *Buck Converter* Pada *Solar Charger* Berbasis *Ziegler Nichols*”. Penelitian ini menggunakan metode *Ziegler Nichols*, dengan tegangan keluaran yang dihasilkan kurang stabil, dengan menggunakan metode ini waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady state* terbilang cukup cepat, namun *overshoot* yang dihasilkan masih cukup besar dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk pengisian baterai.

Sedangkan pada penelitian tersebut akan dilakukan pengembangan yaitu “RANCANG BANGUN DC - DC *SEPIC CONVERTER* DENGAN KONTROL MPPT(P&O) PADA PANEL SURYA BERBASIS PID” yang mana dengan menggunakan metode ini, dapat mengurangi dan meningkatkan efisiensi nilai *overshoot* pada tegangan keluaran dari *sepic converter*, sehingga pengaruh dari *maximum power point tracking* (MPPT) dengan menggunakan kontrol PID dapat memperbaiki nilai tegangan keluaran yang akan lebih cepat dan stabil.

2.2 Panel Surya

Sel surya adalah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung (Novi,

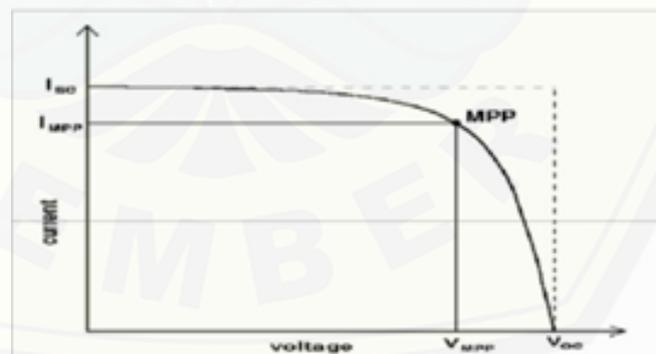
2014). Pada sel surya terdiri atas sambungan P - N yang sama fungsinya dengan diode. Prinsip kerjanya ketika sinar matahari mengenai permukaan dari sel surya, maka energi yang dibawa oleh sinar matahari tersebut akan diserap oleh electron pada sambungan P ke N dan selanjutnya mengalir ke luar melalui kabel yang terpasang ke sel. Sel-sel itu terbuat dari Kristal silicon yang dikembangkan dalam bentuk ingot atau batang tuangan. Dalam potongan tipis yang disambungkan melalui elektroda untuk membentuk sel.

2.2.1 Karakteristik Panel Surya

Panel surya mempunyai parameter yang paling berpengaruh pada kurva daya, yaitu arus hubung singkat dan tegangan hubung terbuka untuk parameter internal, sedangkan parameter eksternalnya meliputi suhu dan *irradiance*. Daya maksimum dan efisiensi turut dimasukkan dalam pembahasan karena merupakan parameter yang umum digunakan untuk membandingkan sel surya.

2.2.2 Kurva I-V Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika



Gambar 2.1 Karakteristik I-V Sel Surya

Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum. Disebut tegangan *open-circuit*. (V_{oc}).

Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP). Karakter penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), dengan persamaan :

$$V_{MPP} \times I_{MPP} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan menggunakan *fill factor* maka maksimum daya dari sel surya didapat dari persamaan :

$$P_{MAX} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

P_{max} : Daya Maksimum (W)

V_{oc} : Tegangan *Open Circuit* (V)

I_{sc} : Arus *Short Circuit* (A)

FF : *Fiil Factor*

2.2.3 Arus Hubung Singkat Pada Panel Surya

I_{sc} adalah arus yang mengalir pada saat tegangan sel surya sama dengan nol. Pada kondisi ideal tanpa rugi daya, I_{sc} sama dengan I_L . I_{sc} bergantung linear terhadap *irradiance* dan dipengaruhi beberapa hal lain, yaitu luas area sel, spektrum cahaya dan parameter optik lain. Pengujian pada *Standard Test Condition* (STC), sel surya komersial memiliki I_{sc} yang bervariasi antara 28mA/cm^2 sampai dengan 35mA/cm^2 [3]. Densitas I_{sc} terhadap luas area sel (A) dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc} = A \cdot J_{sc} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$I_0 = A \cdot J_0 \dots \dots \dots (2.5)$$

Panel Surya yang digunakan yaitu jenis *Polycrystalline* dengan daya sebesar 50 WP (*Watt Peak*), panel surya jenis *Polycrystalline* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* yang menghasilkan daya listrik yang sama. menggunakan sel surya dengan lapisan SiN yang

memberikan solusi kebutuhan listrik pedesaan bahkan perkotaan untuk solusi penghematan energi listrik. Diaplikasi untuk *Solar Home System 50 Wp*, PJU Tenaga Surya 15 Watt, *Warning Light* Tenaga Surya, CCTV Tenaga Surya. Solar Panel ini memiliki susunan kristal secara acak dan diproduksi dengan proses pencetakan / pembentukan. Dengan bentuknya yang persegi, maka kerapatan *polycrystalline* cukup bagus dan mampu mendapatkan energi dari matahari walaupun matahari tertutup awan (cuaca mendung).



Gambar 2.2 Panel Surya 50 WP *Polycrystalline*

Pada tabel 2.1 dijelaskan tentang spesifikasi dari panel surya 50 WP *Polycrystalline*.

Tabel 2.1 *Datasheet* Panel Surya 50 WP *Polycrystalline*

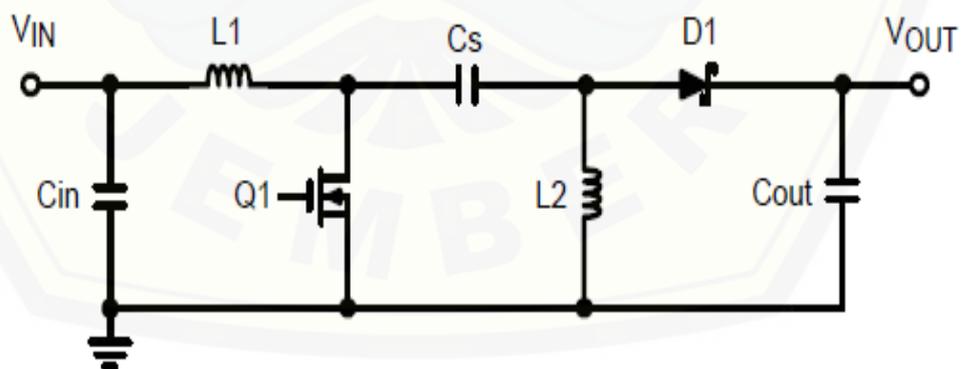
P. Max	50 Watt
Vmp	17,5 Volt
Imp	2,87 Ampere
Voc	21.6 Volt
Isc	3,25 Ampere
<i>Temperature Range</i>	-40°C – 85°C
<i>Max. System Voltage</i>	700 Volt
Merk	GH Solar

Daya maksimum yang dihasilkan panel 50 Watt Peak sebesar 20 Watt, tegangan *maximum power point* sebesar 17.80 Volt , arus *maximum power point* sebesar 2.13 Ampere , tegangan *open circuit* sebesar 21.6 Volt, besar arus *short circuit* 121 Ampere , mempunyai berat 1,8 Kg dan mempunyai ukuran dimensi 540 x 350 x 18 (mm).

2.3 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 duty cycle diatas 50% bekerja sebagai penaik tegangan. Konverter ini mempunyai keluaran non-inverting (polaritas tegangan masukan sama dengan polaritas tegangan keluaran terdapat kapasitor yang dikopel sehingga arus ripple dapat diperkecil, 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 2.3 Rangkaian SEPIC

Pada gambar 2.3 tersebut dapat kita ketahui bahwa komponen utama pada SEPIC converter yaitu (L1) dan induktor (L2), Kapasitor kopling (Cs), dioda (D), Kapasitor output (Cout).

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 persaklaran. Ketika SEPIC bekerja pada kondisi *Steady State*, tegangan rata-rata di kapasitor Cs (VCs) sama dengan tegangan input (VIN).

Karena kapasitor Cs menolak 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 :

$$V_{in} = V_{L1} + V_{Cs} + V_{L2} \dots \dots \dots (2.6)$$

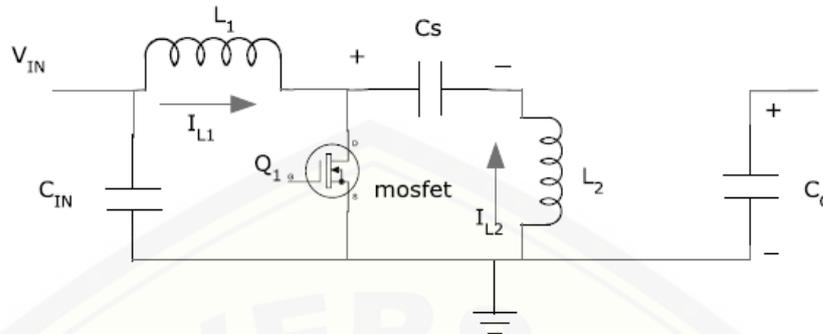
Karena tegangan rata-rata $V_{Cs} = V_{in}$, Sehingga

$$V_{L1} = -V_{L2} \dots \dots \dots (2.7)$$

2.3.1 Kondisi Saklar Tertutup (*Switch ON*)

Ketika MOSFET *on* (tertutup). Ketika MOSFET dalam kondisi on arus IL1 meningkat sedangkan arus IL2 berlebihan 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 mulai *charge*, dan induktor mulai *discharge* ketika kapasitor mulai *charging* maka arus menuju kapasitor mulai turun dan ketika *discharge*, arus *charging* semakin meningkat. Jadi saat on, maka kapasitor kopling akan mulai discharge melalui induktor, dan arus kapasitor meningkat, tetapi dengan arah sebaliknya, sehingga arusnya negatif. Selama T off kapasitor mulai charge dan arus maju. Ketika 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.

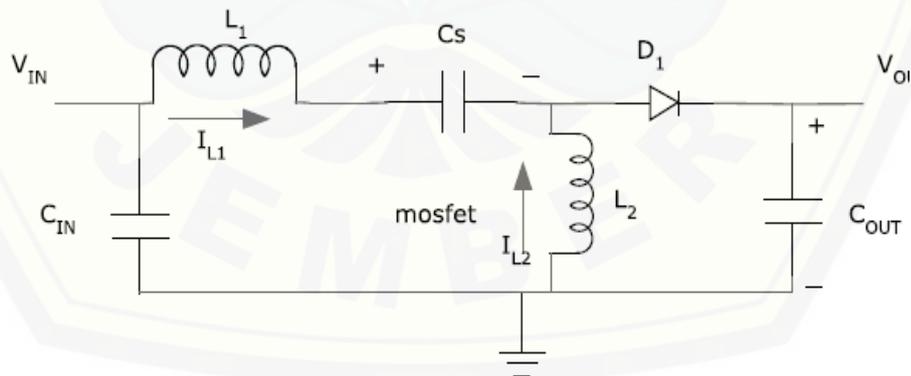


Gambar 2.4 Sepic Converter saat kondisi switch ON.

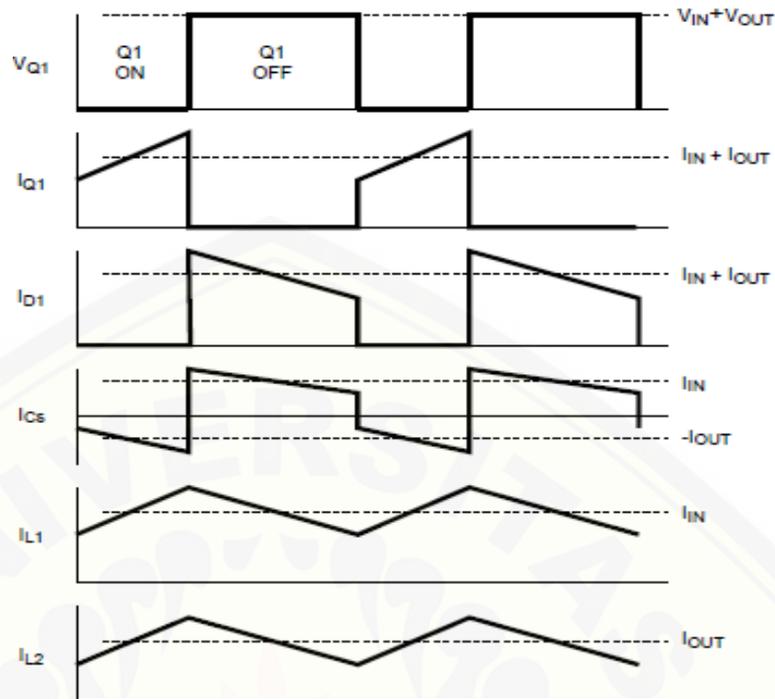
(Ranjan & Kumar)

Ketika MOSFET off, pada kondisi on arus pada kapasitor kopling bernilai sama dengan I_{L1} , induktor tidak akan mengubah nilai arus . Arus L_2 akan tetap kontinyu 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 Kirchoff

$$I_{D1} = I_{Cs} - I_{L2} \dots \dots \dots (2.8)$$



Gambar 2.5 MOSFET SEPIC Converter OFF



Gambar 2.6 Sinyal Switching MOSFET SEPIC Converter

2.3.2 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

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} + V_{out} + V_D} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$D_{(max)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)} + V_{out} + V_D} \dots \dots \dots (2.10)$$

$$D_{(min)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(max)} + V_{out} + V_D} \dots \dots \dots (2.11)$$

Persamaan diatas digunakan untuk menentukan besar duty cycle estimasi berdasarkan data spesifikasi DC/DC converter yang telah di tentukan sebelumnya. Untuk duty cycle minimum didapatkan dengan input maksimum, dengan $V_D = 0.5 \text{ V}$

b. Menentukan nilai induktor

Setelah didapatkan besar *duty cycle*, maka langkah selanjutnya yaitu mencari nilai ripple current pada induktor dengan persamaan 2.12

$$\Delta I_L = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in(\min)}} \times 40\% \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana ΔI_L merupakan arus ripple pada induktor. Kemudian menentukan besar nilai induktor berdasarkan ripple current dengan persamaan 2.13

$$L = L1 = L2 = \frac{V_{in} \times D_{max}}{\Delta I_L \times f} \dots \dots \dots (2.13)$$

Setelah mengetahui besar nilai induktor maka tahap selanjutnya yaitu menghitung jumlah lilitan yang dipakai dengan menggunakan persamaan 2.14

$$N = 100 \sqrt{\frac{\text{Nilai } L \text{ (}\mu\text{H)}}{AL \left(\frac{\mu\text{H}}{100\text{-turn}}\right)}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Kemudian langkah selanjutnya yaitu menghitung peakcurrent pada induktor dengan persamaan 2.15 dan 2.16 untuk induktor yang kedua

$$I_{L1} (peak) = I_{out} \times \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(\min)}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \dots \dots \dots (2.15)$$

$$I_{L2} (peak) = I_{out} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \dots \dots \dots (2.16)$$

2.4 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 merupakan jenis – jenis dari arduino, sedangkan arduino adalah sebuah mikrokontroler yang memiliki sifat *open source* sehingga memudahkan dalam memakainya. Arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan memiliki bahasa pemrograman sendiri serta banyak bantuan *library* pada arduino. Arduino Uno R3 sendiri memiliki chip ATmega328p serta banyak pin pada *board* arduino. Gambar 1.6 menunjukkan *hardware* dari arduino uno R3.



Gambar 2.7 Bentuk Fisik Arduino Uno R3 (www.Arduino.cc)

Adapun spesifikasi dari arduino Uno R3 sendiri seperti pada tabel 2.2 dibawah ini

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno R3

Chip mikrokontroler	Atmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM output
Analog Input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 Ma
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB (Atmega328P), 0,5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB (Atmega328P)
EEPROM	1 KB (Atmega328P)
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68,6 mm x 53.4 mm

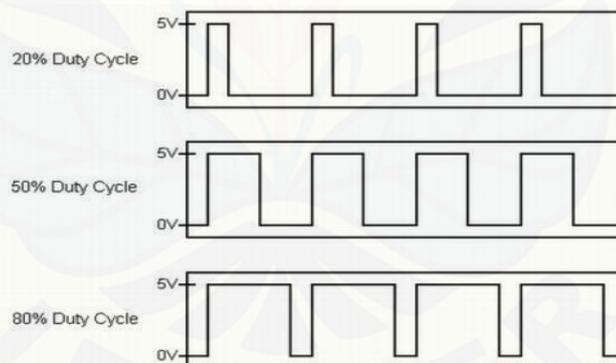
2.5 PWM

Pulse Width Modulation adalah salah satu jenis modulasi. Modulasi PWM dilakukan dengan cara mengubah perbandingan lebar-pulsa-positif terhadap lebar-pulsa-negatif ataupun sebaliknya dalam frekuensi sinyal yang tetap. Yang artinya, total 1 perioda (T) pulsa dalam PWM bernilai tetap. Pada Arduino, sinyal PWM adalah sinyal yang beroperasi pada frekuensi 500Hz. Pada board arduino Uno, pin yang bisa dimanfaatkan untuk PWM adalah pin yang diberi tanda tilde (~), yaitu pin 3, 5, 6, 9, 10, dan pin 11. PWM pada arduino bekerja pada frekuensi 500Hz, artinya 500 siklus dalam satu detik. Untuk setiap siklus bernilai dari 0 hingga 255.

Duty Cycle adalah perbandingan antara waktu konduksi dibagi dengan total waktu antara kondisi konduksi dan tidak konduksi dikalikan seratus persen.

$$Duty\ Cycle = \frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

Dari *duty cycle* tersebut digunakan untuk memberikan waktu konduksi dan tidak konduksinya komponen semikonduktor. Gambar 2.7 menunjukkan lebar pulsa PWM.



Gambar 2.8 Lebar *Pulse Width Modulation*

2.6 Sensor Arus ACS 712

INA 219 merupakan modul sensor yang dapat memonitoring tegangan dan arus pada suatu rangkaian listrik. ACS 712 didukung dengan *interface* I2C atau *Smbus-Compatible* dimana peralatan ini mampu memonitor tegangan *shunt* dan suplai tegangan bus, dengan konversi program *times* dan *filtering*. ACS 712 memiliki sebuah ampliflier *input* maksimum adalah $\pm 320\text{mV}$ ini berarti dapat mengukur sampai $\pm 3,2\text{ A}$. Dengan internal 12 bit ADC, resolusi pada \pm kisaran 3.2 A adalah 0.8 mA Dengan

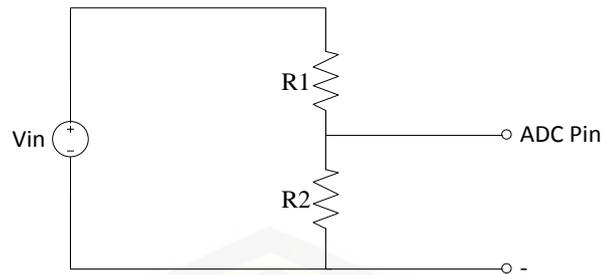
gain internal yang ditetapkan pada minimum div8 , maks saat ini adalah $\pm 400\text{mA}$ dan resolusi 0.1 mA. INA 219 mengidentifikasi tegangan shunt pada bus 0 – 26 V. Gambar 2.9 menunjukkan sensor arus ACS 712.



Gambar 2.9 Modul ACS 712

2.7 Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan DC adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi tegangan dari listrik arus searah dengan keluaran tegangan analog untuk ADC pada mikrokontroler sebesar 5 Volt. Sensor ini berprinsip pada rangkaian pembagi tegangan yaitu menggunakan 2 resistor yang dirangkai secara seri seperti ditunjukkan pada gambar 12, pada sensor ini harus memiliki daya yang rendah agar tidak membuang energi listrik yang dikeluarkan oleh sumber energi listrik pada sensor tegangan DC tersebut. Oleh karena itu nilai resistor yang digunakan harus memiliki nilai resistansi yang tinggi. V_{in} adalah tegangan input pada sensor tegangan, R_1 dan R_2 adalah resistor pembanding agar keluaran V_o untuk masukkan PIN ADC pada mikrokontroler ketika tegangan V_{in} tertinggi mengeluarkan tegangan 5 Volt, dengan persamaan untuk mencari nilai – nilai resistor R_1 dan R_2 ditunjukkan pada persamaan 2.18.



Gambar 2.10 Rangkaian Sensor Tegangan

$$V_o = V_{in} \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \dots \dots \dots (2.18)$$

2.8 RTC

RTC (*Real time clock*) adalah jam elektronik berupa chip yang dapat menghitung waktu (mulai detik hingga tahun) dengan akurat dan menjaga atau menyimpan data waktu tersebut secara *real time*. Karena jam tersebut bekerja *real time*, maka setelah proses hitung waktu dilakukan output datanya langsung disimpan atau dikirim ke device lain melalui sistem antarmuka.

Chip RTC 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 pemasok 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 2.11 Modul *Real Time Clock* (RTC) DS1307

(Sumber: <https://sites.google.com>)

2.9 SD Card Data logger

Data logger adalah perangkat yang digunakan untuk menyimpan data pengukuran. Data logger menggabungkan mikrokontroler 32-bit dan SD Card dengan sistem alokasi file (FAT) bersama-sama dengan teknik pemrograman untuk mengontrol perangkat keras untuk merekam dan pemantauan umum mengusulkan pengukuran. Data ini *logger* menyimpan data pada *removable* SD Card untuk dapat meneruskan data pengukuran *real time* melalui RS232 *port serial* standar untuk tampilan pada LCD. Data disimpan dalam bentuk *comma-separated* berkas (CSV) karena format *file* ini dapat dibaca banyak aplikasi seperti MySQL, MS-Excel, dan MATLAB.



Gambar 2.12 *Micro SD Data Logger*

2.10 Liquid Crystal Display (LCD)

Display elektronik 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.



Gambar 2.13 LCD (*Liquid Crystal Display*)

(Sumber: <https://sites.google.com>)

2.11 Baterai VRLA

Baterai atau aki adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversibel* (dapat berbalikan) dengan efisiensinya 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. Ada banyak jenis baterai, pada umumnya baterai jenis VRLA yang paling sering digunakan untuk panel surya. Gambar 1.14 menunjukkan gambar battery VRLA 12V 7,2 Ah.



Gambar 2.14 Battery VRLA 12V 7,2 Ah

VRLA kepanjangan dari *Valve Regulated Lead Acid* yang memiliki sebutan lain SLA (*Sealed Lead Acid*), di Indonesia lebih dikenal dengan sebutan Aki/ Baterai Kering/ tertutup. Baterai jenis ini bersifat tertutup (*sealed*), sehingga penguapan/ evaporasi yang dikeluarkan sangat kecil (rekombinasi) maka tidak memerlukan penambahan cairan *electrolyte* selama masa pemakaian baterai tersebut. Proses penguapan/ evaporasi pada baterai diatur oleh bagian yang disebut *Valve* (Katup). Baterai bebas perawatan mengurangi inspeksi dan pemeliharaan. Lebih aman, karena sistem baterai ini dirancang untuk menjadi rekombinan dan menghilangkan emisi gas/uap pada *overcharge*, maka tidak ada uap yang dipancarkan selama operasi normal. (Uap dapat mengakibatkan korosi dan karat pada logam bila terjadi kebocoran/retak).

2.11.1 Charging

Waktu pengisian baterai aki / *sealed lead acid* adalah 12 sampai 16 jam. Dengan arus pengisian yang lebih tinggi dan metode pengisian *multi-stage*, waktu pengisian dapat berkurang sampai dengan 10 jam atau kurang.

Pengisian *multi-stage*, terdiri dari 3 stage/ tahap yaitu *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 *full charge* dan kinerja baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, kompensasi *self-discharge* setelah baterai terisi penuh.

2.11.2 Discharging

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

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

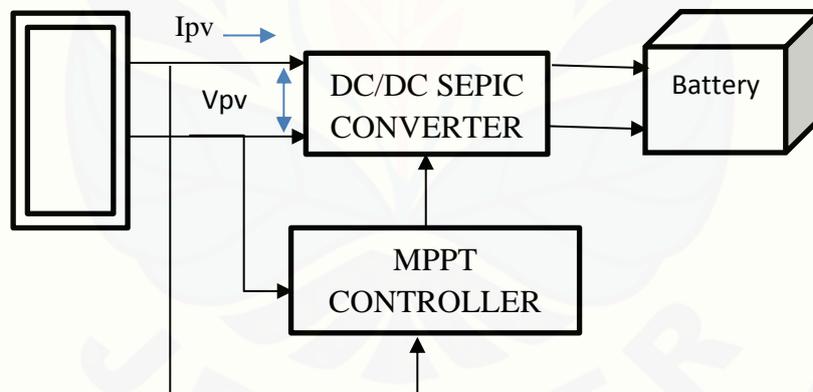
2.12 Sistem Kontrol *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah sebuah rangkaian devais elektronik yang dapat mengubah -ubah titik operasi dari panel surya. Salah satu metode mudah yang dapat diterapkan pada sistem MPPT adalah menaikkan/menurunkan tegangan sampai ditentukan nya titik daya maksimal panel.

Mengingat perubahan level iluminasi sun power berubah-ubah setiap waktu, diharap system MPPT dapat bekerja dinamis dalam mencari titik daya maksimum (Farhan A, 2010).

Banyak sekali faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya ketika beroperasi diantaranya suhu yang mempengaruhi besar tegangan, intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan, dsb. Sistem MPPT memungkinkan kondisi yang bervariasi itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu.

Sistem MPPT di implementasikan ke dalam suatu alat elektronik. Bekerja dengan cara menstabilkan panel surya agar bekerja pada titik maksimumnya, agar daya yang diberikan ke beban adalah daya maksimal. Hasil jeluaran alat elektronik tersebut berupa *duty ratio* (D) yang selanjutnya digunakan untuk *switching* MOSFET pada DC-DC *converter*. Sehingga dengan mengatur nilai D diharap dapat menemukan titik daya maksimumnya dari panel surya.



Gambar 2.15 Blok Diagram Pengendali MPPT

(Sumber : Zeashan Khan, 2004)

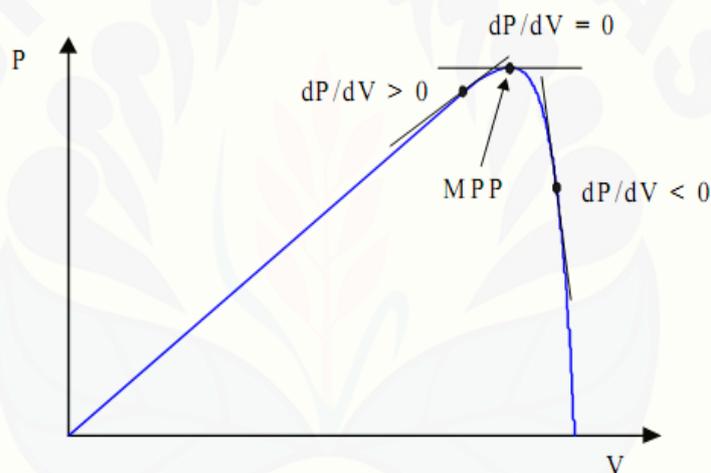
Sistem yang di gunakan Menggunakan Sepic converter yang digunakan untuk menurunkan atau menaikkan tegangan masukan. Konverter yang diatur oleh kontroller dan keluaran yang dihasilkan dioptimasi menggunakan metode P&O. Masukan berupa arus dan tegangan panel surya dan keluaran berupa *duty-cycle* sepic converter yang divariasikan menggunakan switch. Metode *perturb & observe*

ini dapat mengontrol solar cell untuk menghasilkan tegangan keluaran maksimalnya.

2.12.1 Metode Perturb & Observe (P&O)

Metode Perturb & Observe terdiri dari dua tahap perturb yaitu mengubah daya observe yaitu menghitung perubahan daya akibat perubahan perturb sebelumnya. Jika perubahan daya positif maka perturb selanjutnya akan tetap pada arah yang sama, sedangkan jika perubahan daya negatif maka perturb akan dibalik (Esrarn & Chapman, 2007).

P&O disebut juga dengan metode hill climbing, yang mengacu pada karakteristik V-P dari sel surya.



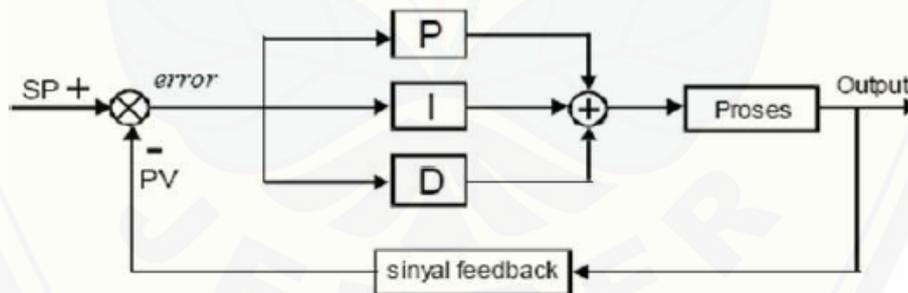
Gambar 2.16 Posisi dP/dV yang berbeda pada kurva daya sel surya

Di sebelah kiri dari MPP perubahan daya terhadap perubahan tegangan $dP/dV > 0$, sementara di sebelah kanan, $dP/dV < 0$. Jika pada tegangan kerja sel surya diganggu (*Perturb*) dan berbeda pada $dP/dV > 0$, hal tersebut diketahui bahwa pengangguan (*Perturb*) dilakukan untuk memindahkan tegangan kerja sel surya maju ke arah MPPT. Jika $dP/dV < 0$, kemudian perubahan titik kerja menggunakan sel surya jauh dari MPPT, maka algoritma P&O membalik arah pengangguan. (RusmisntoTjatur Widodo, 2010)

2.13 Kontrol PID

Pengendali *PID* telah secara luas digunakan dalam industri, yaitu hampir sebesar 90% (Gunawan, 2009). Hal ini dikarenakan jika pengendali ini diatur dengan baik maka akan menghasilkan pengendalian *PID* yang sangat baik. Selain itu pengendali ini juga sederhana dan diimplementasikan dengan mudah. Skema pengendalian *PID* ditunjukkan oleh gambar 2.15. Pada gambar 2.15 menunjukkan bahwa pengendali *PID* merupakan jumlah dari tiga aksi kendali yaitu *propotional* yang ditunjukkan oleh K_p , *integral* yang ditunjukkan oleh K_i dan *derivative* yang ditunjukkan oleh K_d .

Masing – masing paramter dari *PID* ini memiliki fungsi dan perannya. *Propostional* akan mengurangi *rise time* dan akan mengurangi *steady state error*, *integral* dapat menghilangkan *steady state error*. Namun jika hanya kontrol *PI* saja yang digunakan maka akibatnya *transient response* akan bertambah buruk. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan parameter *derivative*. Peramater *D* ini akan memperbaiki *transient response* seperti *overshoot* dan *settling time*. Gabungan dari parameter – parameter ini disebut kontrol *PID* yang akan meningkatkan stabilitas sistem, mengurangi *overshoot* dan mempercepat *transient response*.



Gambar 2.17 Blok Diagram Pengendali PID

Adapun persamaan sistem kendali PID adalah :

$$PID = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Dengan :

PID = Output dari kendali PID

K_p = Konstanta proporsional

K_i	= K_p/T_i
T_i	= Konstanta integral
K_d	= $K_p.T_d$
T_d	= Konstanta derivatif
$e(t)$	= error

Bentuk kontrol *PID* dapat diimplementasikan dalam bentuk analog atau digital. Implementasi *PID* dalam bentuk analog secara dominan digunakan dalam bentuk komponen elektronika analog. Sedangkan bentuk *PID* digital diimplementasikan dalam bentuk digital, yaitu dengan *programming system* di dalam mikroprosesor atau *DSP*. *PID* analog dalam bentuk rangkaian elektronika analog ditunjukkan pada gambar 2.12, selain parameter *PID* dalam bentuk K_p , K_i dan K_d dapat juga dalam bentuk K_p , T_i , dan T_d . Untuk *tunning* parameter – parameter pada bentuk ini dapat dilakukan dengan mengatur nilai dari komponen pada rangkaian analog tersebut. Bentuk *PID* ini memiliki keunggulan murah, efisien yang tinggi dan kinerja dinamik yang cukup baik (Gunawan, 2009).

2.13.1 Menentukan Parameter PID

Tunning kontrol *PID* ini bertujuan untuk menentukan parameter aksi kontrol *Proposional, Integratif, Derivatif* pada *plan*. Proses ini dapat dilakukan dengan cara *trial and error*. Keunggulan cara ini kita gak perlu mengidentifikasi *plan*, membuat model matematis *plan*, menentukan parameter *plan* dengan grafis ataupun analisis, cukup dengan cara coba-coba memberikan konstanta *P-I-D* pada formula *PID* hingga di peroleh hasil yang di inginkan, dengan mengacu pada karakteristik masing-masing kontrol *P-I-D*.

Tabel 2.3 Karakteristik masing – masing kontrol *P-I-D*

Parameter	Rise Timer	Overshoot	Setting Time	S-S error
K_p	Berkurang	Bertambah	0	Berkurang
K_i	Berkurang	Bertambah	Bertambah	Menghilangkan
K_d	Minor Cahange	Berkurang	Berkurang	Minor Cahange

Rise time adalah ukuran waktu yang menyatakan keberadaan suatu respon, yang diukur mulai respon 5% - 9% dari respon *steady state*. *Overshoot* adalah nilai tertinggi dari *output* respon. *Settling time* adalah ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk 5% atau 2% dari respon *steady state*. *Error steady-state* adalah presentase kesalahan pada saat respon *steady state*.



BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

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

3.2 Jenis dan Pengumpulan Data

3.2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh oleh penulis melalui dua bagian yaitu:

1. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

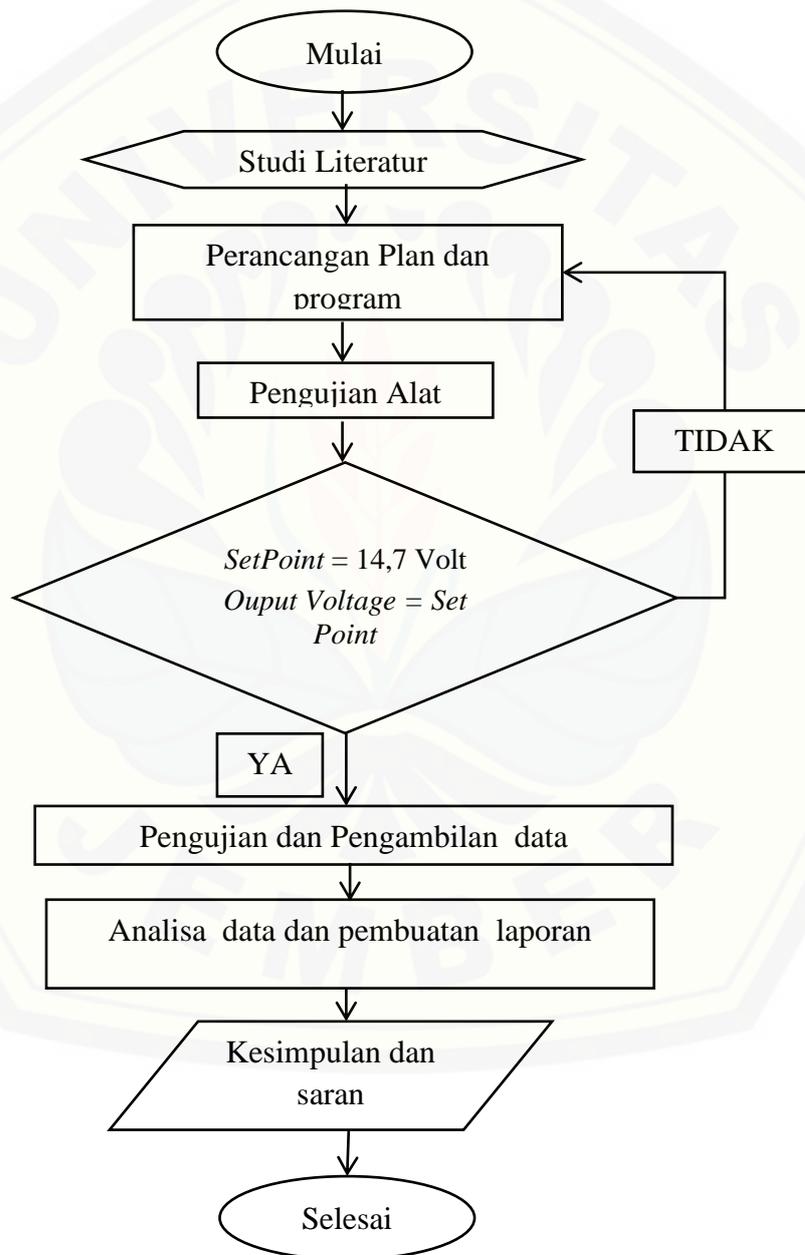
Penelitian kepustakaan atau juga sering disebut studi pustaka merupakan proses pengambilan data baik untuk latar belakang ataupun landasan teori yang berasal dari buku-buku, internet, *International Journal*, jurnal nasional, maupun *e-book*. Data-data yang ada dikumpulkan secara selektif sesuai dengan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

3.2.2 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

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Tahap awal pelaksanaan penelitian ini adalah dengan mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya melalui buku atau internet untuk mengetahui karakteristik komponen sistem, prinsip kerja serta teori yang menunjang lainnya. Diharapkan dengan literatur yang telah didapat dapat memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

2. Perancangan Alat

Tahapan ini merupakan tahap merancang konstruksi secara sistematis dari alat yang akan dilakukan penelitian. Diharapkan dari proses perancangan konstruksi yang sistematis ini, alat yang nantinya akan diteliti dapat terbentuk. Hal – hal lain yang dilakukan yakni seperti penyoderan, perancangan sistem monitoring.

3. Implementasi Alat

Setelah *hardware* dan *software* terbentuk maka dilakukan pengujian pada masing – masing blok dan kemudian pengujian dilakukan pada keseluruhan sistem. Dalam implementasi alat ini juga dilakukan proses kalibrasi dimana pada proses kalibrasi ini bertujuan agar pembacaan sensor akurat sesuai dengan alat ukur.

4. Analisa dan Pengambilan Data

Setelah melakukan pengujian pada keseluruhan sistem dan memastikan bekerja dengan baik dan hasilnya memenuhi target, maka yang dilakukan selanjutnya adalah pengambilan data yang diperlukan untuk kemudian dianalisa dari data yang telah didapatkan. Analisa yang dilakukan adalah kecepatan menuju steady state dan ketahanan terhadap perubahan beban.

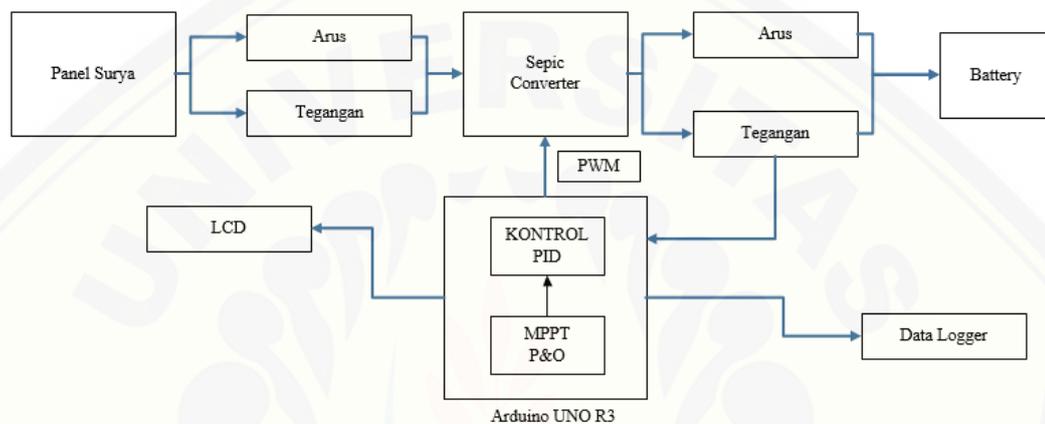
5. Penyusunan Laporan

Pada tahap akhir ini, hasil pengambilan data dan analisa dimasukkan ke pembahasan. Kemudian, dari apa yang telah dianalisa dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menyangkut kinerja dari alat yang dibuat dan

memberikan saran untuk memperbaiki kekurangan yang ada, kemungkinan pengembangan, serta penyempurnaan alat di masa mendatang.

3.2.3 Diagram Blok Alat

Pada penelitian ini akan di dapatkan data yang diinginkan yang sesuai dengan tujuan awal maka sesuai dengan topik yang diambil dari blok diagram sistem secara keseluruhan pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Prinsip kerja dari *Sepic converter* dengan menggunakan control *Perturbe & Observe* ini dapat dijelaskan melalui blok diagram diatas, dimana beban yang digunakan adalah resistor. Tegangan keluaran pada panel surya 50 wp *polycrystalline* sebesar 17 V – 21 V, yang kemudian tegangan keluaran tersebut di *sepic converter* untuk menurunkan nilai tegangannya yaitu sebesar 14 volt, dengan mengubah dari besarnya *duty cycle* dimana *duty cycle* diatur oleh sebuah kontrol yang berupa Arduino UNO R3 melalui besarnya PWM.

Di dalam Arduino ini terdapat (*P&O*) dan PID sebagai kontrol. Tegangan masukan pada kontrol (*P&O*) yaitu 14 volt. Jika tegangan >14 volt atau < 14 volt maka sensor akan mendeteksi sehingga mengirimkan umpan balik ke sistem kontrol (*P&O*) dan diolah dengan menentukan nilai menggunakan metode *Perturb & Observe* sehingga memperbaiki sinyal PWM, Apabila tegangan keluaran yang telah di kontrol oleh MPPT P&O bernilai >14 atau <14 volt maka akan diperbaiki menggunakan kontrol PID sehingga memperbaiki sinyal PWM, *sepic converter* akan bekerja sesuai dengan sinyal kontroler PWM yang diterima

sehingga dapat mengatur *switching* dan akan menghasilkan tegangan keluaran stabil yaitu 14 volt.

Di dalam Arduino ini terdapat kontrol P&O dan kontrol PID yang akan merespon apabila terjadi drop tegangan sehingga mempertahankan output tegangan berada pada set poin. Sensor tegangan dan arus dipasang untuk mengetahui *output* tegangan dari panel surya dan *sepic converter* serta juga digunakan sebagai input dari Arduino yang berupa ADC. Selanjutnya Data Logger digunakan untuk menyimpan data secara otomatis pada sd card.

3.3 Perancangan Komponen Pengendali

3.3.1 Perencanaan Panel Surya

Panel Surya yang digunakan yaitu jenis *Polycrystalline* dengan daya sebesar 50 WP (*Watt Peak*), panel surya jenis *Polycrystalline* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* yang menghasilkan daya listrik yang sama.

Pada tabel 3.1 Spesifikasi Panel surya 50 WP

Max Power Pmax	50Wp
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



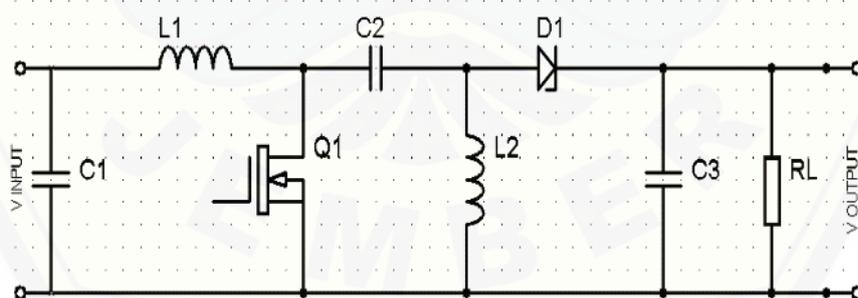
Gambar 3.3 Panel Surya 50 WP Polycrystalline

3.3.2 Perencanaan *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 di bawah ini sesuai dengan parameter yang di dapat :

Tabel 3.2 Parameter DC/DC SEPIC Converter

Tegangan Masukan	15 - 21 V
Tegangan Keluaran	12 – 14.7 V
Arus keluaran	2 A
Frekuensi	62 KHz

Gambar 3.4 Rangkaian *Sepic Converter*

Sebelum mendesain DC/DC Converter. Terlebih dahulu menentukan spesifikasi dari converter yang akan digunakan. Spesifikasi converter yang digunakan sesuai dengan tabel 3.2 kemudian langkah selanjutnya yaitu melakukan

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

Berdasarkan spesifikasi yang di tentukan, berikut ini langkah – langkah menentukan nilai masing – masing komponen melalui perhitungan :

1. Perhitungan *Duty Cycle*

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

$$D_{(max)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)} + V_{out} + V_D} = \frac{14 + 0,7}{10 + 14 + 0,7} = 0,61 = 61\%$$

$$D_{(min)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(max)} + V_{out} + V_D} = \frac{14 + 0,7}{21 + 14 + 0,7} = 0,42 = 42\%$$

2. Pemilihan Induktor

Arus Ripple :

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

$$\Delta IL = 1.36 \times \frac{14}{9} \times 40\% = 0.88 \text{ A}$$

Arus puncak L1 :

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

$$IL1 (peak) = 1.36 \times \frac{14 + 0,7}{18} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 2,08 \text{ A}$$

Arus puncak L2

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

$$IL2 (peak) = 1.36 \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 1.3 \text{ A}$$

Dimana ΔIL merupakan arus ripple di induktor. Kemudian menentukan besar nilai induktor berdasarkan ripple current :

$$L1 = L2 = \frac{9 \times 0.62}{0.88 \times 62000} = 10.22 \text{ uH}$$

3. Pemilihan Mosfet

$$IQ1(peak) = IL1(peak) + IL2(peak)$$

$$= 1,3 + 2,8 = 3,11 \text{ A}$$

Arus rms

$$IQ1(rms) = I_{out} \sqrt{\frac{(V_{out} + V_{in(min)}) + V_D \times (V_{out} + V_D)}{V^2_{in}}}$$

$$IQ1(rms) = 1.36 \sqrt{\frac{(14+9+0.5 \times (14+0.5))}{9^2}} = 2.3 \text{ A}$$

4. Pemilihan Kapasitor Input

Arus RMS pada C1 :

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

$$I_{Cs}(rms) = 1.36 \times \sqrt{\frac{14+0.5}{18}} = 1.8 \text{ A}$$

5. Perhitungan kapasitor Output

Tegangan ripple diasumsikan 2% dari tegangan output

$$V_{ripple} = 2\% \times 14 = 0.29 \text{ V}$$

Perhitungan :

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

$$C_{out} \geq \frac{1.36 \times 0.88}{0.29 \times 50000 \times 0.5} = 165 \text{ uF}$$

$$C_{out} = 165 \text{ uF}$$

$$I_{xin}(rms) = \frac{\Delta I_L}{\sqrt{18}} = 0,254 \text{ A}$$

6. Pemilihan Dioda

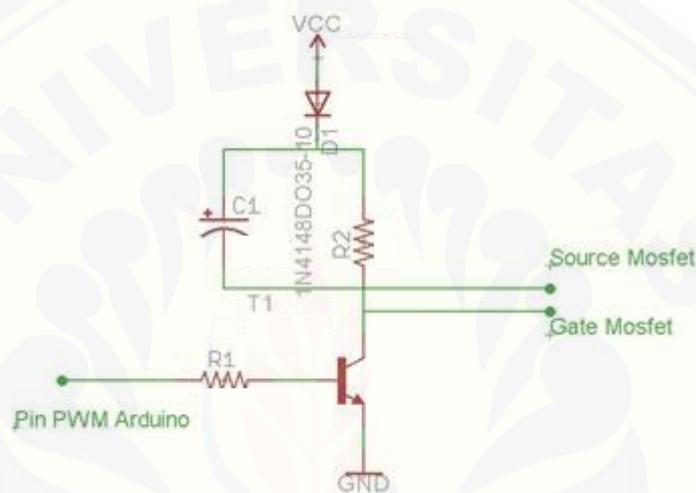
Pada pemilihan dioda diperlukan tegangan minimum

$$V_{RD} = V_{in(max)} + V_{out(max)}$$

$$V_{RD} = 19 + 14 = 33 \text{ A}$$

3.3.3 Rangkaian Driver

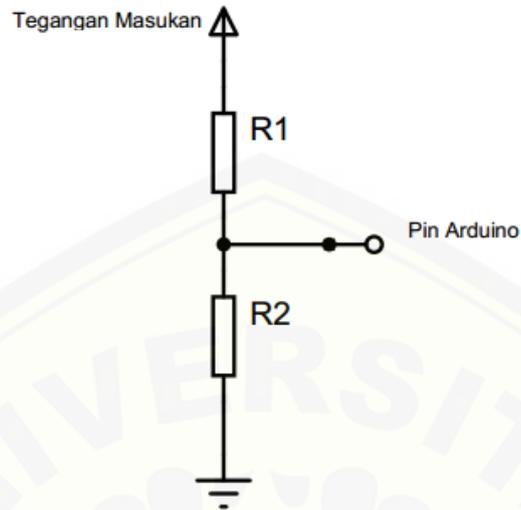
Rangkaian driver berguna sebagai pemisah antara rangkaian daya dengan rangkaian kontrol pada buck konverter dan sebagai menguatkan sinyal pemicu/ sinyal PWM yang dikeluarkan dari pin 6 arduino untuk memicu penyulutan saklar semikonduktor pada rangkaian daya. Saklar semikonduktor akan membuka secara sempurna jika mendapat *duty cycle* sebesar 100 % dengan tegangan sebesar 5 volt. Rangkaian driver dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini :



Gambar 3.5 Rangkaian Driver Mosfet

3.3.4 Perencanaan Sensor Tegangan

Sensor tegangan berguna untuk mengukur besar nilai tegangan yang masuk pada *input sepic converter* dan tegangan *output* dari *sepic converter*. Prinsip kerja dari sensor tegangan yang digunakan yaitu menggunakan rumus pembagi tegangan dari dua buah resistor disusun seri yang mempunyai nilai resistansi berbeda sseperti pada gambar rangkaian 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini dapat kita lihat persamaan berikut :

$$V_o = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} \quad V_i$$

Dimana, $V_{out} = 5$; $V_{in} = 23$ volt; $R_1 = 8k2 \text{ k}\Omega$

$$5 = \frac{23 \times R_2}{(8k2 + R_2)}$$

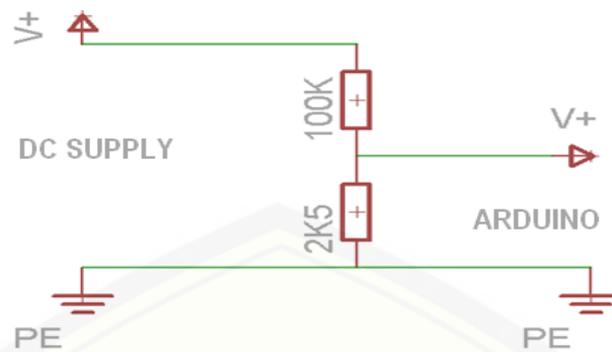
$$5 \times (8k2 + R_2) = 23 \times R_2$$

$$4100 + 5R_2 = 23R_2$$

$$4100 = 18 R_2$$

$$R_2 = \frac{4100}{18} = 2277 \Omega$$

Pada pengujian sensor tegangan yang telah dilakukan dengan cara seperti pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

Dalam pengujian sensor tegangan ini menggunakan DC *power supply* sebagai input sumber tegangan. Kemudian sebuah digital multimeter untuk melakukan pengukuran output tegangan yang nantinya akan dibandingkan dengan pembacaan display tegangan pada DC *power supply*.

3.3.5 Perencanaan Baterai

Pada penelitian ini akan digunakan baterai aki kering bertipe VRLA (*Valve Regulated lead Acid*). Baterai ini berfungsi sebagai beban yang akan menyimpan energy yang dihasilkan oleh panel surya. Spesifikasi dari baterai yang digunakan yaitu mempunyai tegangan nominal sebesar 12 volt dengan arus sebesar 7,2 Ah.

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. Standart 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

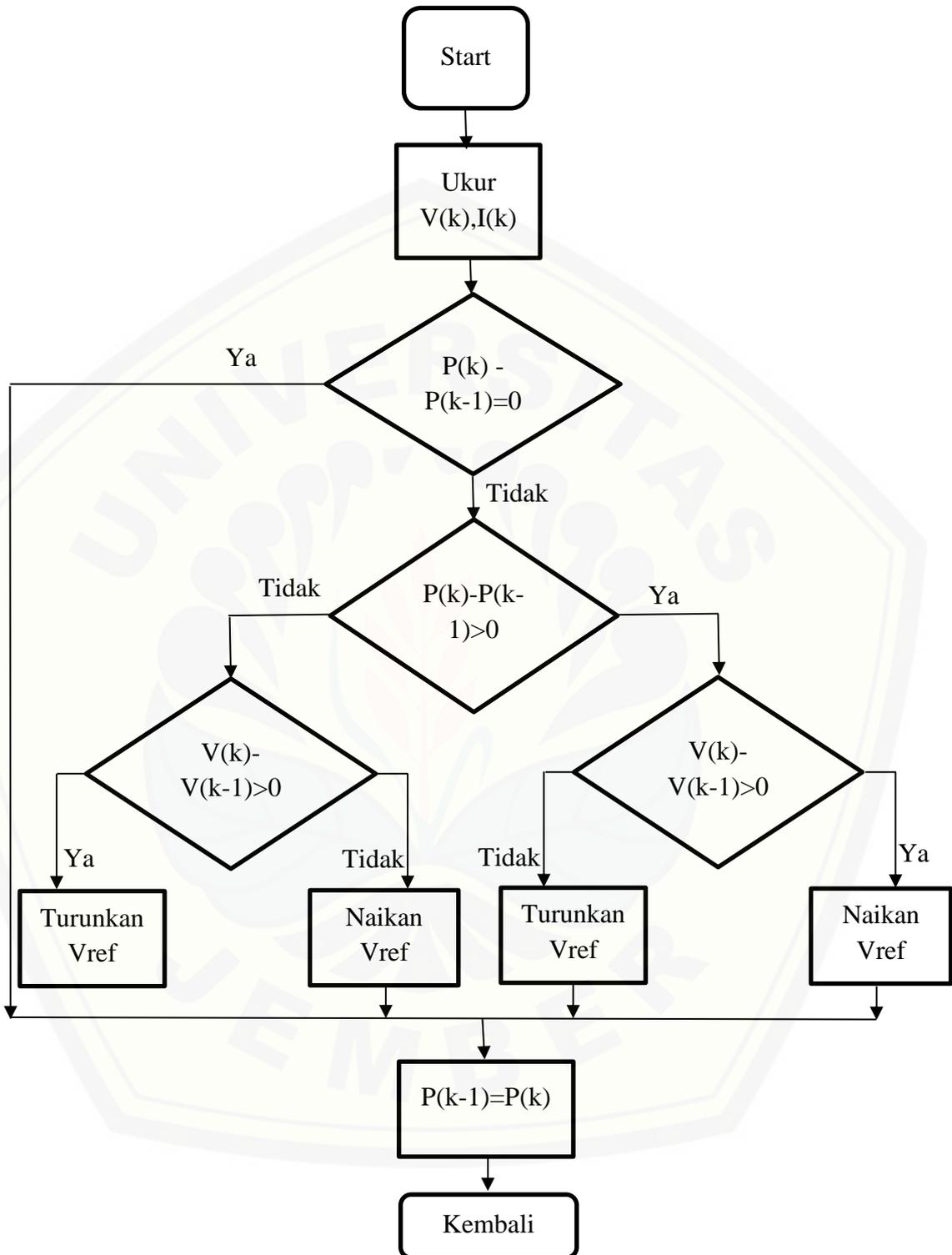
tinggi. *Charger* dengan suhu yang fluktuatif harus dilengkapi dengan sensor suhu untuk mengoptimalkan *float voltage*.

Pada penelitian ini menggunakan panel surya 50 wp *polycrystalline*, batteray atau aki sebesar 12 volt dengan kapasitas arus 7,2 Ah dan arus pengisian sebesar 2 A.

3.5.6 Perencanaan Metode *Perturb & Observe*

Algoritma P&O ditunjukkan dengan diagram alir dalam gambar 3.8 Penjelasan diagram alur dijelaskan pertahap sebagai berikut :

1. Pengukuran tegangan dan arus awal. Dilakukan pengukuran untuk mengetahui secara persis nilai tegangan dan arus *solar cell*.
2. Perhitungan daya *solar cell* : Dilakukan untuk mengetahui secara persis nilai daya *solar cell* saat ini.
3. Perhitungan selisih daya. Dilakukan untuk mengetahui selisih daya yang baru saja terukur dengan daya yang digunakan secara acuan.
4. Perbandingan. Dilakukan untuk menentukan proses perubahan tegangan kerja *solar cell*. Dari sini tegangan kerja *solar cell* akan berubah. Bisa lebih besar ataupun lebih kecil. Hal ini bergantung pada selisih daya *solar cell* dan juga selisih tegangan yang terukur.
5. Menyimpan nilai daya setelah dilakukan perubahan tegangan menjadi nilai daya sekarang.
6. *Return* : proses akan kembali lagi ke nomor 1.



Gambar 3.8 Flowchart Perturb & Observe

Pada Gambar 3.8 Dapat dijelaskan bahwa yang akan di ukur yaitu tegangan pada saat pengukuran ($V(K)$) dan arus pada saat pengukuran ($I(K)$) maka dapat menghasilkan Daya pada saat pengukuran ($P(K)$) di kurangi dengan Daya pada saat sebelum pengukuran ($P(K-1)$) bagaimana mendapatkan nilai sama dengan nol. Jika hasil dari perhitungan daya tersebut bernilai sama dengan nol maka Daya pada saat sebelum pengukuran ($P(K-1)$) bernilai sama dengan Daya pada saat pengukuran ($P(K)$). Jika hasilnya tidak sama dengan bernilai nol maka Daya pada saat pengukuran ($P(K)$) dikurangi dengan Daya pada saat sebelum pengukuran ($P(K-1)$) lebih kecil dari bernilai nol. Pada saat diketahui bahwa nilai daya lebih kecil dari nol maka terdapat dua kondisi dimana pada saat kondisi pertama yaitu jika ya maka dilakukan pengukuran Tegangan pada saat pengukuran ($V(K)$) di kurangi dengan Tegangan pada saat sebelum pengukuran ($V(K-1)$) bernilai sama dengan lebih kecil dari nol jika bernilai tersebut maka menaikkan nilai *duty cycle* dan jika tidak maka menurunkan *duty cycle*. Pada proses ini dilakukan beberapa literasi bertujuan untuk mencari titik daya tertinggi atau terbesar sampai daya yang didapatkan benar maksimal.

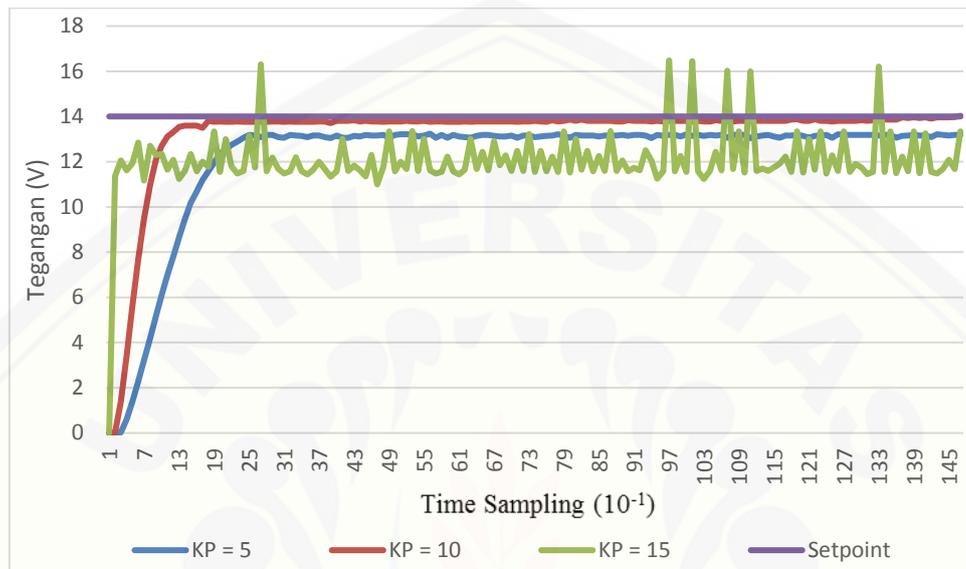
3.5.7 Metode *Manual Tunning (trial and error)*

Metode *manual tuning* adalah metode untuk mencari nilai parameter *PID* dengan cara *trial and error* dengan mengacu pada karakteristik dari setiap parameter yang dicari seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan *manual tuning* parameter dengan langkah sebagai berikut.

Tabel 3.3 Respon Kontrol Proposional

Percobaan Ke-	K_p	T_d (s)	T_r (s)	T_p (s)	T_s (s)	M_p (%)
1	5	10	0	0	25	0
2	10	7	19	26	65	12,85
3	15	10	12	23	56	20,71

Pada proses menentukan parameter kontrol PID *Trial and error* ini dengan cara *manual tuning* untuk mendapatkan nilai parameter K_p , K_i dan K_d pada kali ini dan mengambil beberapa data dan tanpa menggunakan beban. Berikut grafik hasil pengambilan data kontrol proposional



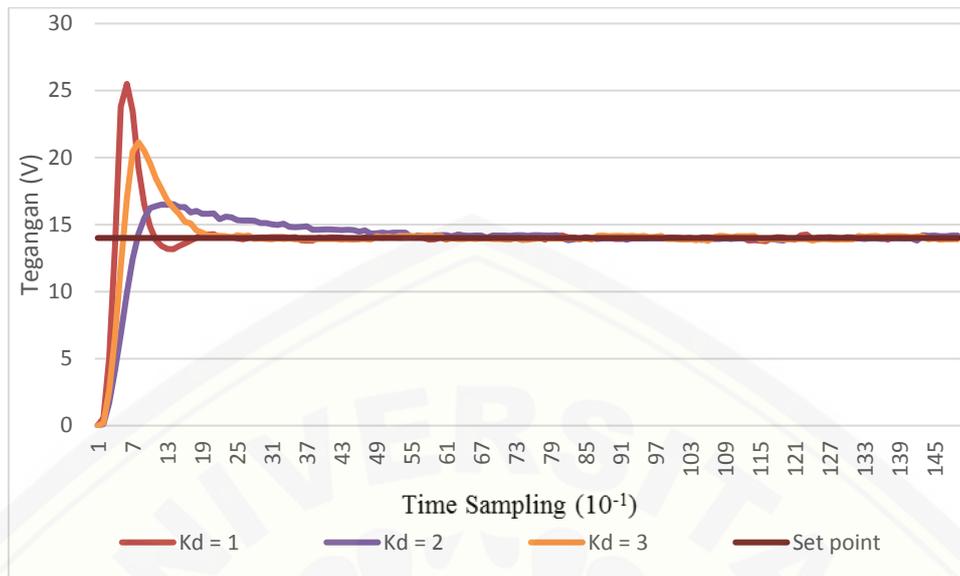
Gambar 3.9 Respon kontrol proposional dengan nilai $K_p : 5$, $K_p : 10$, $K_p : 15$.

Pada gambar 3.9 merupakan respon grafik kontrol proposional terhadap tegangan. Dari tabel 3.3 dan gambar 3.9 dapat dijelaskan bahwa semakin besar K_p maka respon tegangan semakin besar dan waktu untuk mencapai *steady state* akan semakin lama. Dari tabel 3.4 dapat diketahui bahwa respon tegangan yang paling baik ketika nilai parameter K_p 2.

Tabel 3.4 Respon kontrol proposional dan differensial

Percobaan Ke-	K_p	K_d	T_d (s)	T_r (s)	T_s (s)	T_p (s)	M_p (%)
1	10	1	4	9	23	10	14,28
2	10	2	7	17	66	24	2,14
3	10	3	3	7	24	9	14,28

Pada tabel 3.4 merupakan respon kontrol proposional dan differensial dengan nilai k_p sebesar 10 dan nilai k_d sebesar 2. Maka mendapatkan nilai M_p sebesar 2,14%.



Gambar 3.10 Respon kontrol proposional dan differensial dengan nilai $K_d : 1$, $K_d : 2$, $K_d : 3$.

Pada gambar 3.26 merupakan respon grafik kontrol proposional dan differensial terhadap tegangan. Dari tabel 3.7 dan gambar 3.26 dapat dijelaskan bahwa semakin besar K_d maka respon gelombang osilasi semakin cepat waktu untuk mencapai *steady state* juga akan semakin cepat. Dari tabel 3.5 dapat diketahui bahwa respon tegangan yang paling baik ketika nilai parameter K_d sebesar 2.

Tabel 3.5 Respon Kontrol ptoposional, integral dan differensial.

Percobaan Ke-	K_p	K_i	K_d	T_d (s)	T_r (s)	T_s (s)	T_p (s)	M_p (%)
1	10	1	2	7	16	50	29	20
2	10	2	2	8	17	59	25	14,28
3	10	3	2	6	36	56	43	1,4

Berdasarkan tabel 3.5 merupakan tabel dari kontrol respon proposional, differensial dan menentukan nilai integral yaitu dengan nilai K_i sebesar 1. Sehingga untuk meredamkan nilai overshoot yang terlalu tinggi.



Gambar 3.11 Respon kontrol proposional, integral dan derifferensial dengan nilai $K_i = 1$, $K_i = 2$, $K_i = 3$

Pada gambar 3.11 merupakan respon grafik kontrol proposional, differensial dan intergal terhadap tegangan. Dari tabel 3.5 dan gambar 3.11 dapat dijelaskan bahwa fungsi dari parameter K_i untuk mengurangi *overshoot*. Ketika K_i semakin kecil maka respon gelombang osilasi mempunyai *overshoot* yang kecil dan semakin cepat waktu untuk mencapai *steady state*. Dari tabel 3.5 dapat diketahui bahwa respon tegangan yang paling baik ketika nilai parameter K_i sebesar 1.

Keterangan :

T_d : Waktu untuk menyatakan faktor keterlambatan respon *output* terhadap *input*.

T_r : Waktu yang diukur mulai respon $t = 0$ sampai respon memotong sumbu *steady state*.

T_s : Waktu untuk menyatakan respon telah masuk $< 5\%$ dari keadaan *steady state*.

T_p : Waktu yang diperlukan respon mulai dari $t = 0$ hingga mencapai puncak pertama *overshoot*

M_p : Nilai relatif yang menyatakan perbandingan antara nilai maksimum respon (*Overshoot*) yang melampaui nilai *steady state*.

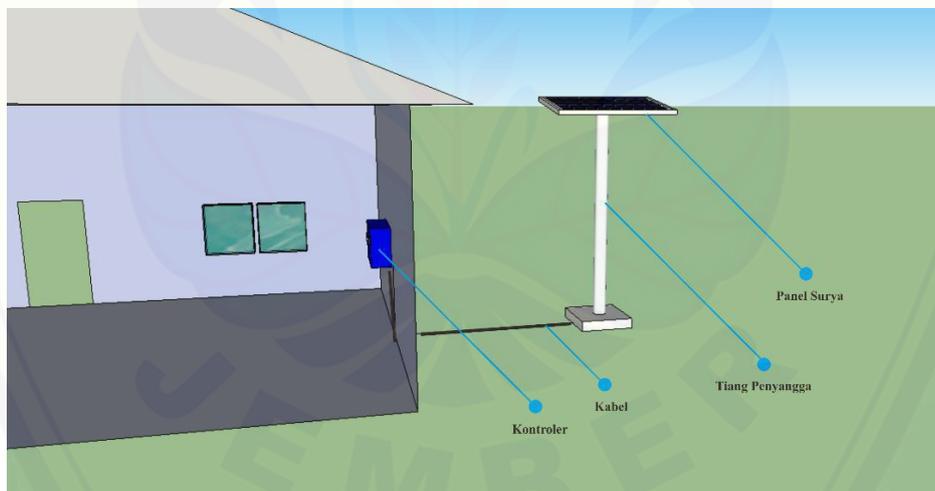
Berdasarkan data tabel 3.5 maka dapat diketahui bahwa nilai pada saat *manual tuning* yang sudah dilakukan dapat diambil beberapa data yang sudah sesuai mencapai *set point* pada saat berbeban. Berdasarkan data diatas dapat diketahui sesuai dengan rumus dan perhitungan dibawah ini :

$$PID = Set\ Point + Error\ Baru \cdot Kp + Error\ Baru - \\ Error\ Lama \cdot Kd + Ki$$

$$PID = 14 + 0,001 \cdot 10 + 0,001 - (-2,5) \cdot 2 + 1 \\ = 21,511$$

$$E\% = Error\ Lama - Error\ Baru \\ = (-2,50) - 0,001 \\ = -2,50 \%$$

3.5.8 Design Rancang Bangun Secara Keseluruhan



Gambar 3.12 Design Alat Secara Keseluruhan

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian yang berjudul “Rancang Bangun DC-DC SEPIC Converter Dengan Kontrol MPPT Pada Panel Surya Berbasis *PID*”, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pada perancangan *sepic converter* dapat menghasilkan tegangan yang lebih rendah maupun lebih tinggi dari tegangan input, saat nilai *duty cycle* diatas 50% maka tegangan yang dapat dihasilkan oleh *sepic converter* lebih besar dari tegangan input, dikarenakan *sepic converter* bersifat *boost*. Begitu sebaliknya jika *duty cycle* dibawah 50% maka tegangan yang dapat dihasilkan oleh *sepic converter* lebih kecil dari tegangan input, dikarenakan *sepic converter* bersifat *buck* atau penurunan tegangan.
2. Pada performa *sepic converter* dengan kontrol MPPT yang berbasis PID ketika di terapkan pada proses charging memiliki performa pada saat mencapai stabil pada tegangan yaitu senilai 14 volt. Daya charging yang dihasilkan pada saat tegangan sebesar 12,52 volt sebesar 4,29 watt. Dengan proses charging menggunakan baterai kapasitas 7,2 Ah yang membutuhkan waktu selama 10 jam dari tegangan 11,62 volt sampai 13,61 Volt.
3. Persentase *error* terkecil dari pengujian sensor tegangan untuk tegangan keluaran SEPIC *converter* berada pada tegangan 15.19 Volt yaitu sebesar 0,7 %, dan untuk *error* terbesar terdapat pada saat pengukuran tegangan yaitu sebesar 20 Volt dengan nilai *error* sebesar 0,40 %.
4. Nilai efisiensi tertinggi pada SEPIC *converter* dengan beban 39 Ω terdapat pada saat *duty cycle* 75 % dengan tegangan *input* 18 Volt dan tegangan *output* sebesar 32,9 Volt, sedangkan untuk efisiensi terendah terdapat saat *duty cycle* 30 % dengan nilai efisiensi yaitu 51,9 % dengan tegangan *input* sebesar 18 Volt dan tegangan *output* 6,83 Volt.

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 .
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

- Adikari, Neha., Singh, Bhim., Vyas. 2011. *Performance Evaluation of a Low Power Solar-PV Energy System with SEPIC Converter*, IEEE PEDS 2011, Singapore, 5-8 December 2011.
- Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral.2016. Statistik Ketenagalistrik 2015. Edisi No.29. Jakarta, Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.
- CW. Priananda and R Sulistyowati, “Analisis dan Simulasi Metode Hill Climbing untuk Maximum Power Point Tracker (MPPT) pada Photovoltaic,” Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 2015
- H. Yatimi dan E.Aroudam, ”Modeling and Simulation of a Stand-alone Photovoltaic System,” Xth international Conference on Integrated Design and Production, CPI Desember 2015
- Hanafi, I. M. 2017. “Implementasi *SEPIC Converter* Pada Tegangan Keluaran Menggunakan Metode Kontrol *PID*”. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Mahardika, W. P. 2017. “Sistem Kontrol Konverter *Sepic* Pada *Solar Charger* Berbasis *Logika Fuzzy*”. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Hasan, F. H. 2017. “Rancang Bangun MPPT Dengan DC-DC *Buck Converter* Pada Panel Surya Dengan Beban Pompa Air DC”. *Skripsi*. Jember. Fakultas Teknik Universitas Jember
- Soumya Ranjan Behera, Thabir Kumar Meher. (2013). “Design of Single Ended Primary Inductor DC-DC Converter”. Odisha: National Institute of Technology
- Meera, M., Muruganandam, M. 2015 “SEPIC Converter Based Switched Mode Power Supply Design for Batte

- Oudda, M., dan A. Hazzab. 2016. "Fuzzy Logic Control of a SEPIC Converter for a Photovoltaic System". *Journal of Fundamental of Renewable Energy and Applications*. 6(4):1-7
- Ta-Tau, Chen., Ming-Ying., Shun-Hung, Che-Nan 2011. "Design Of Digital Battery Charger System Based on PV- Module", IEEE International conference on Fuzzy System, June 27-30,2011, Taipei, Taiwan.
- Ullah, Thuhid, Md., Helal, Muhammad 2016. "Design, Hardware Implementation and Performance analysis of conventional SEPIC Converter for Photovoltaic System Application".
- Rashid, Muhammad H, 2001. *Power Electronic Handbook*, Academic Press : Pensacola,Florida USA.
- Dezso, Sera, 2009 "Real-time Modelling, Diagnostics and Optimised MPPT for Residential PV systems", Aalborg University Institute of Energy Technology, Denmark
- Yusmiati, E. S. 2014. *Energi Supply Solar Cell Pada Sistem Pengendali Portal Parkir Otomatis Berbasis Mikrokontroler AT89S52. Laporan Akhir*. Palembang : Politeknik Negeri Surabaya.
- P. Midya, P. T. Krein, R.J. Turnbull, R. Reppa, and J. Kimbal. 1996. "Dynamic maximum power point tracker for photovoltaic applications". 27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference
- Trishan Eram, Patrik L. Chapman. 2007 "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques" *IEEE Transactions On energy Conversion*, Vol 22, No 2, June 2007
- Mohan, Ned. Undeland, Tore M. Robbin, William P. 1995. "Power Electronics Converter, Applications, and Design". New York. John Wiley & Sonc, Inc
- Winarno, Istiyo. Natasari, Lia. 2017 "Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berdasarkan Metode Perturb and Observe Dengan Sistem Tracking Panel Surya Single Axis" Jurusan Teknik Elektro. Universitas Hang Tuah Surabaya

LAMPIRAN**A. Listing Program**

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

const int analogIn = A2;//Iin
const int analogout = A3;//Iout
int mVperAmp = 85; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int RawValue= 0;
int ACSoffset = 2500;
double Voltage = 0;
int mVperAmpout = 105; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int RawValueout= 0;
int ACSoffsetout = 2500;
double Voltageout = 0;
double aruso = 0;
double arusi = 0;
int maxpwm = 200;
int minpwm = 0;
int duty= 200;
int dutyn=0;
float P=0; float Pn=0;
float dP=0;
float setV= 14;
float Vref = 5.0;
float Vin = 0;
float Vout = 0;
float R1 = 4200.0;
float R2 = 1000.0;
float R3 = 4100.0;
float R4 = 1000.0;
int Pin = 0;
int Pout = 0;
float error_bfr_I=0, error_bfr_D=0;
int setpoint=14;
float Tc=0.01;
float error, error_I, error_D;
float out_P, out_I, out_D, out_PID;
float KP=3, KI=0, KD=0;
int outPWM;
int con;

void setup() {
```

```
TCCR0B = TCCR0B & B11111000 | B00000001;
pinMode(analogIn, INPUT);
pinMode(analogout, INPUT);
//Serial
Serial.begin(9600);
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.print("Hello, world!");

}

void loop() {

tegangan();
arus();
mppt();
tampil();
daya ();
Stampil();
//Serial.println(data);
//analogWrite(5,data);
}

void tampil() {
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Vi= ");
  lcd.setCursor(3, 0);
  lcd.print(Vin);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Vo");
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print(Vout);

  lcd.setCursor(10, 0);
  lcd.print(Vin);
  lcd.setCursor(10, 1);
  lcd.print(Vout);
  lcd.clear();
}

void mppt(){
  P=Vin * (arusi);
  dP= P - Pn;
```

```
if(dP==0){
  if(Vout<=setV){
    //tambah pwm;
    duty=duty+1;
  }
  else if(Vout>setV){
    duty=duty-1;
  }
  else{
    // duty tetap
  }
}
else if(dP<0){
  duty=dutyn;
}
else if(dP>0){
  if(Vout<=setV){
    //tambah pwm;
    duty=duty+1;
  }
  else{
    // duty = duty
  }
}
Pn=P;
dutyn=duty;
if (duty>=maxpwm){
  duty = maxpwm;
}
if (duty<=minpwm){
  duty=minpwm;
}
analogWrite(5,duty);
}

void PID1() {
  error = setpoint-Vout;
  out_P = KP*error;

  error_I = error + error_bfr_I;
  out_I= KI*error_I*Tc;
  error_bfr_I = error_I;

  error_D = error - error_bfr_D;
  out_D= (KD*error_D)/Tc;
```

```
error_bfr_D = error_D;

out_PID = out_P + out_I + out_D;
}

void ctrl() {
  outPWM=outPWM+out_PID;

  if(outPWM>=255) {
    outPWM=255;
  }
  if(outPWM<=0) {
    outPWM=0;
  }
  con=255-outPWM;
  analogWrite(5, con);
}

void Stampil() {
  //Serial.print("Pin :"); Serial.print(Pin); Serial.println(" P");
  // Serial.print("Pout:"); Serial.print(Pout); Serial.println(" P");
  //Serial.print("Vin :"); Serial.print(Vin); Serial.println(" V");
  // Serial.print("Vout:"); Serial.print(Vout); Serial.println(" V");
  //Serial.print("Current: "); Serial.print(arusi); Serial.println(" mA");
  //Serial.print("Current2:"); Serial.print(aruso); Serial.println(" mA");
  Serial.println(String(Vout));
}

void tegangan() {
  Vin = (analogRead(A1) * Vref) / 1023.0 / (R2 / (R1 + R2));
  Vout = (analogRead(A0) * Vref) / 1023.0 / (R4 / (R3 + R4));
}

void arus() {

  RawValue = analogRead(analogIn);
  Voltage = (RawValue / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
  arusi = ((Voltage - ACSoffset) / mVperAmp);

  //Serial.print(arusi);Serial.print(",");

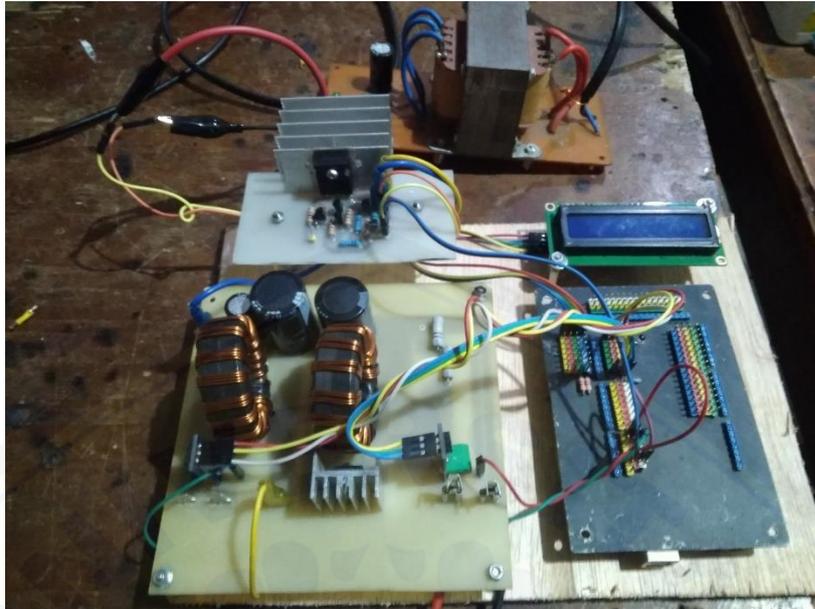
  RawValueout = analogRead(analogout);
  Voltageout = (RawValueout / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
  aruso = ((Voltageout - ACSoffsetout) / mVperAmpout);
  if (aruso<0.1){
    aruso=0;
  }
}
```

```
}  
if (arusi<0.24){  
  arusi=0;  
}  
}  
void daya() {  
  
  Pin = Vin*arusi;  
  Pout = Vout*aruso;  
  
}
```

B. Dokumentasi Penelitian



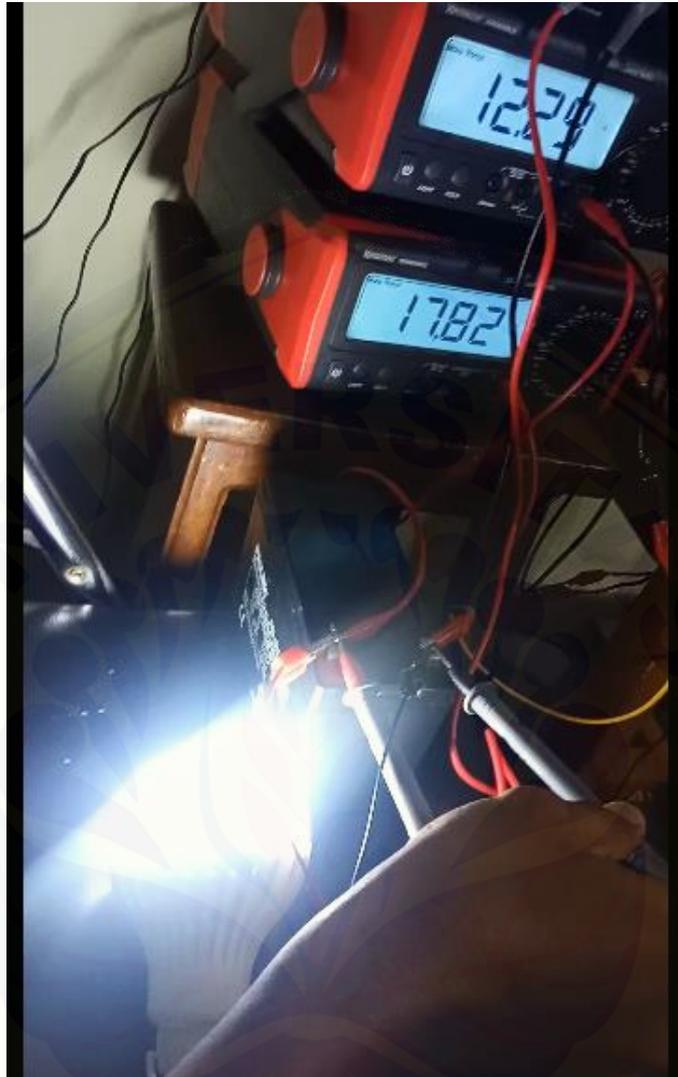
Pengujian pwm



Hasil Desain Sepic Converter



Pengujian Sistem Keseluruhan



Pengujian Beban Lampu DC