

**RANCANG BANGUN SISTEM MPPT *INCREMENTAL*
CONDUCTANCE BERBASIS KONTROLER PID PADA
KONVERTER SEPIC YANG TERHUBUNG PANEL SURYA**

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
MINAT SISTEM KONTROL DAN ELEKTRONIKA**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik**



ARIEF RAHMAN HIDAYAT

NIM 166060300111020

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019





JUDUL TESIS:

**RANCANG BANGUN SISTEM MPPT *INCREMENTAL CONDUCTANCE*
BERBASIS KONTROLER PID PADA KONVERTER SEPIC YANG
TERHUBUNG PANEL SURYA**

Nama Mahasiswa : Arief Rahman Hidayat

NIM : 166060300111020

Program Studi : Teknik Elektro

Kekhususan / Minat : Sistem Kontrol dan Elektronika

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc

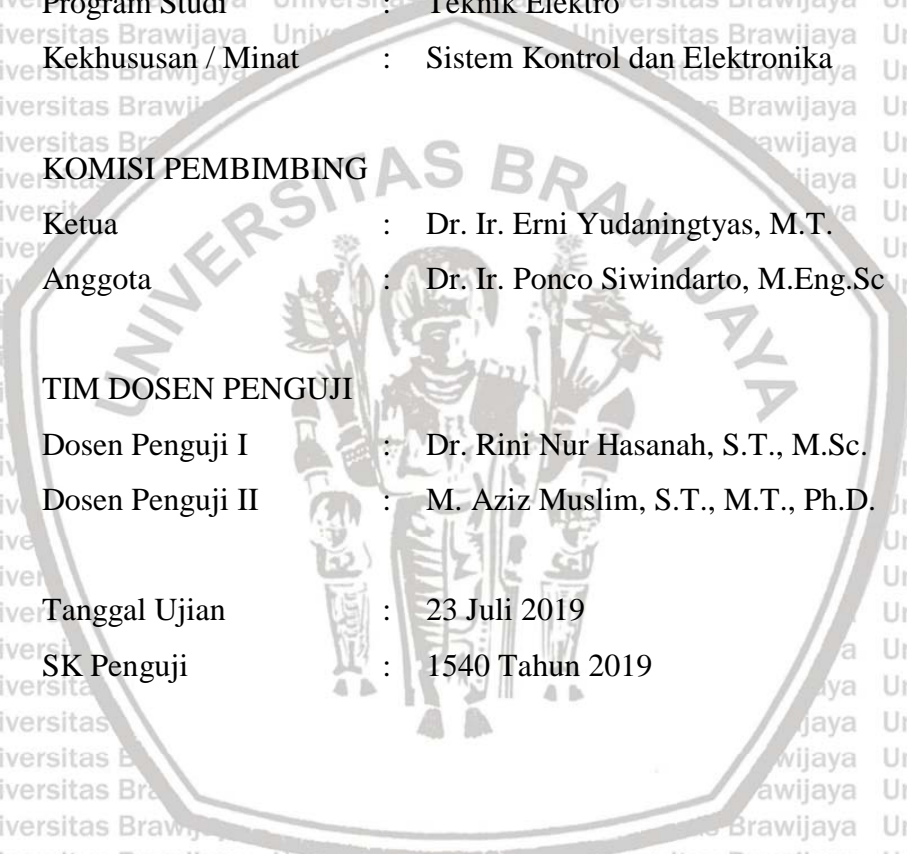
TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.

Dosen Penguji II : M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.

Tanggal Ujian : 23 Juli 2019

SK Penguji : 1540 Tahun 2019







*Karya ilmiah ini ditunjukkan kepada
Keluarga penulis dan teman-teman SKE 2016,*



RIWAYAT HIDUP

Arief Rahman Hidayat, dilahirkan di Malang, 27 Juli 1992 dari pasangan Moch. Chamim Tohari dan Umi Machmudah. Pendidikan SD diselesaikan di SDN Kauman 1 Malang. Pendidikan SMP diselesaikan di SMPN 1 Malang, dan SMA diselesaikan di SMAN 4 Malang. Lulus SMA pada tahun 2010, kemudian melanjutkan studi Strata 1 (S1) di Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya Malang dengan bidang konsentrasi Teknik Kontrol. Setelah menyelesaikan studinya, penulis melanjutkan studi Strata 2 (S2) di Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2016 dengan bidang minat Sistem Kontrol dan Elektronika.

Malang, Juli 2019

Penulis

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT, atas segala karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini. Dalam pelaksanaan pembuatan tesis ini, penulis juga banyak menerima bantuan dari berbagai pihak.

Oleh karena itu, dengan rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu antara lain:

1. Keluarga dan teman-teman penulis yang selalu memberikan bantuan dalam bentuk moral, material dan doa kepada penulis. Serta Almarhum baba yang selalu menjadi panutan penulis.
2. Ibu Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, S.T., M.T. dan bapak Dr. Ir. Ponco Siwindarto, selaku Pembimbing, terima kasih atas semua arahan dalam penyelesaian penelitian tesis ini.
3. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku dewan penguji, terima kasih atas saran dan masukannya yang membuat penelitian ini menjadi lebih detail.
4. Bapak Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro, beserta seluruh dosen pengajar dan staf di Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas sistem pembelajaran dan ilmu pengetahuan yang sudah diberikan.
5. Seluruh rekan-rekan di SKE 2016 dan angkatan 2016, serta rekan-rekan mahasiswa Magister Teknik Elektro, Universitas Brawijaya.

Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang secara langsung maupun tidak langsung turut membantu menyelesaikan Tesis ini, terima kasih atas segala dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis, semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayat sebagai imbalan atas kebaikannya.

Malang, Juli 2019

Penulis

RINGKASAN

Arief Rahman Hidayat, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2019, *Rancang Bangun Sistem MPPT Incremental Conductance Berbasis Kontroler PID Pada Konverter SEPIC Yang Terhubung Panel Surya*, Dosen Pembimbing: Erni Yudaningsy dan Ponco Siwindarto.

Salah satu sumber energi yang berpotensi di Indonesia adalah sumber energi matahari. Sinar matahari dapat digunakan dan dikonversi menjadi energi listrik melalui sel surya. Sel surya yang saling terhubung dengan sel surya lainnya baik terhubung secara seri maupun paralel disebut panel surya. Pada dasarnya, efisiensi panel surya dihitung saat panel surya bekerja pada titik optimalnya. Apabila panel surya tidak bekerja pada titik optimalnya, maka efisiensi yang dihasilkan akan kecil. Cara untuk menjaga panel surya bekerja pada titik optimalnya dapat menggunakan algoritma *maximum power point tracking* (MPPT). *Incremental Conductance* (IC) merupakan salah satu metode MPPT yang telah banyak digunakan. Metode MPPT IC bekerja berdasarkan dari gradient kurva daya terhadap tegangan karakteristik dari panel surya. Titik kerja maksimal sel surya terletak pada saat panel surya menghasilkan daya maksimum disebut *voltage at maximum power point* (VMPP). Metode MPPT IC akan menentukan perubahan *duty cycle* untuk melacak kondisi saat titik daya maksimal panel surya. Nilai *duty cycle* selanjutnya akan dikirim pada rangkaian konverter DC-DC.

Konverter DC-DC merupakan rangkaian elektronik penyesuai level tegangan DC yang dapat digunakan ketika beban membutuhkan tegangan DC pada level tertentu. Konverter SEPIC merupakan pengembangan dari konverter *Buck Boost* dan konverter *Cuk*. Konverter SEPIC dapat bekerja menaikkan dan menurunkan tegangan *output* dengan nilai efisiensi yang tinggi.

Penambahan kontroler PID pada MPPT IC dapat mengurangi kesalahan pembacaan pada tegangan referensi. Tegangan referensi merupakan tegangan saat daya yang dihasilkan panel surya pada titik maksimum. Kesalahan pembacaan pada tegangan referensi akan memberikan dampak pada nilai daya yang dihasilkan. Apabila kesalahan pembacaan tegangan referensi tersebut dapat dikurangi maka nilai daya yang dihasilkan akan semakin besar.

Pada penelitian ini membandingkan hasil daya yang dihasilkan panel surya dengan menggunakan dua metode MPPT yang berbeda, yaitu MPPT IC konvensional dengan MPPT IC berbasis kontroler PID. Hasil penelitian dari pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa MPPT IC dengan menggunakan kontroler PID dapat meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan dibandingkan dengan MPPT IC konvensional. Pada pengujian pertama, efisiensi dapat meningkat sebesar 8.98%. Pengujian kedua, nilai efisiensi daya dapat meningkat 8.25%. Pengujian ketiga, nilai efisiensi daya dapat meningkat 7.55%.

Kata Kunci: *Incremental Conductance*, Konverter SEPIC, PID, Panel Surya

SUMMARY

Arief Rahman Hidayat, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2019, *Optimize Power Photovoltaic Using SEPIC with Incremental Conductance based PID*, Academic Supervisor: Erni Yudaningtyas & Ponco Siwindarto.

One potential energy source in Indonesia is a source of solar energy. Sunlight can be used and converted into electrical energy through photovoltaic. Basically, the efficiency of photovoltaic is calculated when the photovoltaic works at its optimal point. If the photovoltaic does not work at its optimal point, the efficiency produced will be small. The way to keep photovoltaic working at their optimal point can use the maximum power point tracking (MPPT) algorithm.

Incremental Conductance (IC) is one of the MPPT methods that has been widely used. The MPPT IC method works based on the gradient of the power curve on the voltage characteristics of the photovoltaic. The maximum working point of a photovoltaic is when it produces maximum power called voltage at maximum power point (VMPP). The MPPT IC method will determine the change in duty cycle to track conditions when the maximum power point of the photovoltaic. The value of the duty cycle will then be sent to the DC-DC converter circuit.

DC-DC converter is an electronic circuit that adjusts DC voltage level which can be used when the load requires DC voltage at a certain level. The SEPIC converter is a development of the Buck Boost converter and the Chuck converter. The SEPIC converter can work to increase and decrease the output voltage with high efficiency values.

The addition of the PID controller on the MPPT IC can reduce reading errors in reference voltage. Reference voltage is the voltage when the power produced by the photovoltaic is at its maximum point. Error reading on reference voltage will have an impact on the value of the power produced. If the error in reading the reference voltage can be reduced then the value of the power produced will be even greater.

In this study, comparing the results of the photovoltaic produced using two different MPPT methods, namely conventional MPPT IC with MPPT IC based on PID controller. The results of the tests that have been carried out can be concluded that the MPPT IC using the PID controller can improve the efficiency of the power produced compared to conventional MPPT IC. In the first test, efficiency can increase by 8.98%. The second test, the value of power efficiency can increase by 8.25%. The third test, the value of power efficiency can increase by 7.55%.

Keywords: Incremental Conductance, SEPIC converter, PID, Photovoltaic

KATA PENGANTAR

Penelitian dan penyusunan tesis ini dilatar belakangi atas perkembangan teknologi sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan berpotensi yang terdapat di Indonesia adalah matahari. Sinar matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui panel surya. Efisiensi panel surya sering menjadi topik pembahasan penelitian karena nilai yang dihasilkan kecil. Sehingga dibutuhkan cara yang tepat untuk memperoleh efisiensi yang lebih baik. Penelitian ini menggunakan metode *Incremental Conductance* dengan ditambah kontrol PID diharapkan mampu mengatasi kesalahan untuk menentukan nilai tegangan pada saat titik daya maksimal. Sehingga daya yang dihasilkan akan lebih besar dan nilai efisiensi yang diperoleh akan lebih baik.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk membantu kesempurnaan penelitian ini. Akhir kata penulis berharap agar penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya pada khususnya.

Malang, Juli 2019

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Hasil Penelitian yang Relevan	7
2.2 Sel Surya (<i>Photovoltaic</i>)	15
2.3 Konverter	18
2.3.1 Konverter <i>Buck Boost</i>	20
2.3.2 Konverter <i>Cuk</i>	21
2.3.3 <i>Single Ended Primary Inductor Converter</i> (Konverter SEPIC)	21
2.4 <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT)	24
2.5 <i>Incremental Conductance</i> (IC)	25
2.6 <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	28
2.7 Kontroler	29
2.7.1 Kontroler Proporsional	30
2.7.2 Kontroler Integral	30
2.7.3 Kontroler Differensial	31
2.7.4 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID).....	32
2.7.5 Parameter Kontroler PID.....	33
2.8 <i>Voltage Sensor</i>	35
2.9 Sensor ACS712-5A	35
2.10 Mikrokontroler Arduino.....	36



BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	39
3.1 Kerangka Konsep	39
3.2 Variabel Penelitian	41
3.3 Hipotesis	41
BAB IV METODE PENELITIAN	43
4.1 Metodologi Penelitian	43
4.2 Perancangan Sistem	44
4.3 Perancangan Parameter Panel Surya	45
4.4 Perancangan <i>Voltage Sensor</i>	46
4.5 Perancangan Sensor Arus.....	46
4.6 Perancangan Sistem Mikrokontroler.....	47
4.7 Perancangan Konverter SEPIC	48
4.7.1 Perhitungan Induktor	48
4.7.2 Perhitungan Kapasitor	49
4.7.3 Pemilihan MOSFET.....	50
4.8 Perancangan Pengujian Keseluruhan	50
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	55
5.1 Hasil Pengujian Panel Surya.....	55
5.2 Hasil Pengujian <i>Voltage Sensor</i>	60
5.3 Hasil Pengujian Sensor ACS712-5A.....	62
5.4 Pengujian Sinyal PWM	64
5.5 Pengujian Konverter SEPIC	65
5.6 Hasil Pengujian Keseluruhan	66
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	73
6.1 Kesimpulan	73
6.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen dari Sel Surya.....	16
Gambar 2.2 Contoh Bentuk dari Panel Surya	16
Gambar 2.3 Karakteristik Kurva <i>Output</i> Panel Surya Dipengaruhi Perbedaan Radiasi.....	17
Gambar 2.4 Karakteristik Kutva <i>Ouput</i> Panel Surya Dipengaruhi Perbedaan Suhu	18
Gambar 2.5 (a) Transistor	19
Gambar 2.5 (b) MOSFET	19
Gambar 2.6 (a) Dasar Rangkaian <i>Switching</i>	19
Gambar 2.6 (b) Rangkaian Ekuivalen Pensaklaran	19
Gambar 2.6 (c) Bentuk Keluaran Tegangan yang Dihasilkan.....	19
Gambar 2.7 Konverter <i>Buck-Boost</i>	20
Gambar 2.8 Konverter <i>Cuk</i>	21
Gambar 2.9 Konverter SEPIC	22
Gambar 2.10 Konverter SEPIC saat keadaan MOSFET nyala.....	23
Gambar 2.11 Konverter SEPIC saat keadaan MOSFET mati.....	24
Gambar 2.12 Sistem MPPT.....	25
Gambar 2.13 Diagram Alir dari <i>Incremental Conductance</i>	27
Gambar 2.14 Sinyal PWM	28
Gambar 2.15 Diagram Blok Kontrol Proporsional.....	30
Gambar 2.16 Diagram Blok Kontrol Integral.....	31
Gambar 2.17 Diagram Blok Kontrol Diferensial.....	32
Gambar 2.18 Diagram Blok Kontroler PID.....	33
Gambar 2.19 Reaksi Sistem Bekerja Membentuk Kurva S.....	34
Gambar 2.20 <i>Voltage Sensor</i>	35
Gambar 2.21 Sensor ACS712-5A	36

Gambar 2.22 Mikrokontroler Arduino-nano.....	37
Gambar 3.1 Blok Diagram dari Kerangka Konsep.....	40
Gambar 4.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	44
Gambar 4.2. Blok Diagram Sistem.....	45
Gambar 4.3. Panel Surya Dekade 50 wp	46
Gambar 4.4. <i>Voltage Sensor</i>	46
Gambar 4.5. Sensor ACS712-5A.....	47
Gambar 4.6. Rangkaian Skema Konverter <i>SEPIC</i>	48
Gambar 4.7. Karakteristik <i>Plant</i>	50
Gambar 4.8. Tuning dengan <i>Ziegler-Nichols</i>	51
Gambar 4.9. Grafik Kurva Respon dari Sistem dengan Variasi Nilai K_p	51
Gambar 4.10. Grafik Respon Sistem dengan Nilai K_p dan T_i	52
Gambar 4.11. Grafik Respon Sistem dengan Nilai K_p T_i dan T_d	53
Gambar 5.1. (a) Pengujian Pertama Karakteristik Panel Surya tanpa Tertutup Kertas Kalkir.....	56
Gambar 5.1. (b) Pengujian Pertama Karakteristik Panel Surya Tertutup Kertas Kalkir.....	56
Gambar 5.2. Kurva I-V Panel Surya Dekade 50 wp Pukul 08.30.....	57
Gambar 5.3. Kurva P-V Panel Surya Dekade 50 wp Pukul 08.30.....	58
Gambar 5.4. Kurva I-V Panel Surya Dekade 50 wp Pukul 12.30.....	59
Gambar 5.5. Kurva P-V Panel Surya Dekade 50 wp Pukul 12.30.....	60
Gambar 5.6. Grafik Pengujian Pembacaan Sensor Tegangan.....	62
Gambar 5.7. Grafik Pengujian Pembacaan Sensor Arus ACS712-5A.....	63
Gambar 5.8. Pengujian Sinyal PWM.....	64
Gambar 5.9. Gambar Grafik Hasil Uji Sinyal PWM.....	65
Gambar 5.10. Konverter <i>SEPIC</i>	65
Gambar 5.11. Pengujian Keseluruhan Sistem	67
Gambar 5.12. Grafik Perbandingan Daya <i>Output</i> Pengujian Pertama.....	68

Gambar 5.13. Pengujian dengan Panel Surya yang Tertutup Kertas Kalkir.. 68

Gambar 5.14. Grafik Perbandingan Daya *Output* Pengujian Kedua..... 70

Gambar 5.15. Grafik Perbandingan Daya *Output* Pengujian Ketiga..... 71



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sistem MPPT dan Konverter DC-DC.....9

Tabel 2.2 Penalaan Parameter PID Kurva Reaksi *Ziegler-Nichols*..... 34

Tabel 2.3 Data dan Spesifikasi dari *Voltage Sensor* 35

Tabel 2.4 Data dan Spesifikasi dari Sensor ACS712-5A.....36

Tabel 2.5 Data dan Spesifikasi dari Arduino-nano..... 37

Tabel 4.1 Data Panel Surya Dekade 50wp Mono..... 45

Tabel 4.2 Konfigurasi *Input Output* Mikrokontroler Arduino-nano..... 47

Tabel 5.1 Pengujian 1 Panel Surya 50 wp pukul 08.30..... 56

Tabel 5.2 Pengujian 2 Panel Surya 50 wp pukul 08.30..... 57

Tabel 5.3 Pengujian 1 Panel Surya 50 wp pukul 12.30..... 58

Tabel 5.4 Pengujian 2 Panel Surya 50 wp pukul 12.30..... 59

Tabel 5.5 Hasil Uji *Voltage Sensor*..... 61

Tabel 5.6 Hasil Uji Sensor ACS712-5A 63

Tabel 5.7 Hasil Uji Sinyal PWM..... 64

Tabel 5.8 Hasil Uji Konverter SEPIC..... 66

Tabel 5.9 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC Konvensional Pada Jam
09.00..... 67

Tabel 5.10 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC dengan Kontroler PID Pada Jam
09.00..... 67

Tabel 5.11 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC Konvensional Pada Jam
09.45..... 69

Tabel 5.12 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC dengan Kontroler PID Pada Jam
09.45..... 69

Tabel 5.13 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC Konvensional Pada Jam
11.15 71

Tabel 5.14 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC dengan Kontroler PID Pada Jam

11.15 71



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Foto-foto Alat.....	77
Lampiran 2 Listing Program	79



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian tentang energi terbarukan telah banyak dilakukan. Penelitian dikembangkan antara lain adalah sumber dengan energi angin, air, hingga matahari. Indonesia mempunyai banyak sumber energi. Energi matahari merupakan salah satu hal energi yang terdapat di Indonesia adalah energi matahari. Energi terbarukan dari matahari bisa dimanfaatkan. Cara untuk dapat memanfaatkan energi tersebut dengan sel surya. Sel surya merupakan suatu teknologi yang dapat menghasilkan listrik DC jika terkena sinar matahari. Sel surya terhubung dengan sel surya lainnya baik terhubung secara seri maupun paralel disebut panel surya. Keuntungan dari manfaat sumber energi tenaga matahari yaitu dapat diperoleh dengan gratis, mudah didapat dan tersedia setiap hari.

Panel surya yaitu seperangkat rangkaian elektronik yang memanfaatkan energi matahari. Energi tersebut akan diubah menjadi energi listrik. Besar nilai listrik yang dihasilkan tersebut dipengaruhi oleh besarnya intensitas sinar matahari. Indonesia adalah negara tropis yang terletak pada sekitar garis khatulistiwa. Indonesia memiliki intensitas radiasi matahari yang datanya diperoleh dari BMG dan BPPT sebesar 2 kWh/m^2 hingga 5 kWh/m^2 . Intensitas radiasi matahari pada daerah Jawa Tengah, Bali, NTT, NTB, Sulawesi Tengah, dan Papua bernilai di atas 5 kWh/m^2 . Selain itu, intensitas radiasi matahari pada daerah Jawa Barat sekitar 2 kWh/m^2 . Intensitas radiasi matahari pada daerah lainnya sekitar 4 kWh/m^2 . Berdasarkan data tersebut dapat dikatakan bahwa Indonesia mempunyai sumber energi matahari yang banyak (Nurrohim, 2012).

Pada dasarnya, efisiensi panel surya dihitung saat panel surya bekerja pada titik optimalnya. Efisiensi yang dihasilkan akan bernilai kecil apabila panel surya tidak bekerja pada titik daya optimal. Cara untuk menjaga panel surya bekerja pada titik optimalnya dapat menggunakan algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) (Tito, 2012). Tujuan metode MPPT yaitu bisa menemukan dan

memperoleh suatu titik nilai daya yang optimal panel surya, sehingga akan memperoleh nilai daya panel surya yang lebih optimal.

Incremental Conductance (IC) yaitu metode MPPT yang banyak digunakan dari metode MPPT lainnya. Metode *Incremental Conductance* merupakan metode yang sederhana namun memiliki kemampuan dalam mencari titik daya maksimal dengan baik tanpa terpengaruh perubahan kondisi pada sel surya. Perubahan kondisi pada sel surya yang dimaksud seperti perubahan kondisi lingkungan, penuaan pada sel surya dan penurunan kemampuan sel surya (Liu, 2004).

Metode MPPT *Incremental Conductance* digunakan pada rangkaian konverter DC-DC yang berfungsi untuk mengontrol sistem kerja dari panel surya agar dapat mempertahankan titik optimal daya yang telah ditentukan. Konverter *Cuk*, konverter *BuckBoost* dan konverter SEPIC merupakan beberapa contoh dari konverter DC-DC. Setiap konverter tentunya memiliki karakter dan fungsi yang berbeda.

Konverter *Boost* merupakan rangkaian konverter yang memiliki kemampuan mengatur jumlah keluaran tegangan lebih besar dari tegangan sumbernya. Konverter *Buck* merupakan rangkaian konverter yang memiliki kemampuan menurunkan nilai dari tegangan sumbernya, sehingga akan memproduksi keluaran tegangan yang lebih rendah dari tegangan sumbernya. Konverter *Buck Boost* dapat mengatur keluaran tegangan yang lebih kecil atau lebih besar dari tegangan sumbernya (Hart, 1997).

Konverter *Cuk* memiliki fungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan DC dengan polaritas *output* tegangan terbalik atau berlawanan dari tegangan *input*. Konverter *Cuk* merupakan perbaikan dari konverter *Buck Boost*, dengan efisiensi *output*. Konverter *Cuk* yang lebih baik daripada Konverter *Buck Boost* (Meliala, 2016).

Konverter SEPIC adalah konverter perbaikan kelemahan dari konverter *Buck Boost* dan konverter *Cuk*. Konverter SEPIC dapat menurunkan atau

menaikkan tegangan *output* dari tegangan *input*. Konverter SEPIC juga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi (Dunia, 2013).

Penelitian terkait metode MPPT telah banyak dilakukan salah satunya oleh Ronilaya dkk (2018). Penelitian ini bertujuan melakukan perbandingan beberapa MPPT untuk optimasi daya panel surya. Metode-metode MPPT yang dibandingkan antara lain yaitu *Constant Voltage*, *Perturb and Observe* dan *Incremental Conductance*. Hasil penelitian yang diperoleh adalah nilai efisiensi daya yang didapatkan dengan metode *Incremental Conductance* lebih besar daripada metode MPPT lainnya.

Penelitian terkait MPPT *Incremental Conductance* juga telah dilakukan oleh Slamet dkk (2014). Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui tentang optimasi daya pada panel surya dengan memodifikasi MPPT *Incremental Conductance*. Rangkaian converter yang digunakan adalah konverter *Boost*. Modifikasi MPPT *Incremental Conductance* dilakukan dengan menambah kontroler PI sebagai pengendali *duty cycle* rangkaian konverter *Boost*. Hasil penelitian ini diperoleh suatu kesimpulan bahwa modifikasi MPPT *Incremental Conductance* yang ditambah kontroler PI dapat menghasilkan nilai efisiensi daya yang lebih baik.

Penelitian terkait modifikasi MPPT *Incremental Conductance* juga telah dilakukan oleh Wu (2017). Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai dihasilkan pada *output* konverter *Buck* dengan beberapa metode. Metode yang digunakan antara lain yaitu MPPT menggunakan kontroler PID, MPPT *Incremental Conductance*, dan modifikasi MPPT *Incremental Conductance* dengan kontroler PID. Hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa modifikasi MPPT *Incremental Conductance* yang ditambah kontroler PID dapat menghasilkan daya yang lebih besar dari metode lainnya.

Berdasarkan uraian-uraian penelitian dalam hal peningkatan optimasi daya daya pada panel surya, maka dapat dijadikan dasar atau landasan bagi penulis untuk melakukan penelitian tentang konverter *SEPIC* dengan menggunakan metode MPPT *Incremental Conductance* yang ditambah dengan kontroler PID. Penelitian

ini diharapkan dapat meningkatkan optimasi daya panel surya dan dapat lebih cepat merespon terhadap kondisi yang berubah-ubah berupa radiasi sinar matahari dan suhu yang masuk pada panel surya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah ini disusun berdasarkan latar belakang di atas yaitu sebagai berikut :

1. Rancang bangun konverter *SEPIC* dengan MPPT *Incremental Conductance* untuk optimasi daya pada panel surya
2. Rancang bangun konverter *SEPIC* dengan MPPT *Incremental Conductance* yang ditambah dengan kontroler PID untuk optimasi daya pada panel surya.
3. Bagaimana perbandingan efisiensi daya yang dihasilkan converter *SEPIC* dengan MPPT *Incremental Conductance* konvensional dan MPPT *Incremental Conductance* yang ditambah kontroler PID.

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah pada penelitian sebagai berikut :

1. Ruang lingkup yang dibahas mengenai optimasi daya pada *output* rangkaian konverter *SEPIC*.
2. Panel surya yang digunakan adalah tipe Dekade 50wp Mono.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan membuat rancang bangun sistem MPPT *Incremental Conductance* dengan menambahkan kontroler PID pada konverter *SEPIC* yang terhubung panel surya. Analisa hasil meliputi *output* dari konverter *SEPIC* dan melakukan perbandingan efisiensi daya yang dihasilkan antara menggunakan sistem MPPT *Incremental Conductance* konvensional dengan sistem MPPT *Incremental Conductance* berbasis kontroler PID.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang dibuat akan memperoleh metode yang baru agar dapat memperoleh nilai efisiensi yang lebih baik sebagai usaha untuk memperoleh daya panel surya yang optimal.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka menjabarkan tentang penelitian yang sudah dilakukan yang masih berkaitan dan diperoleh dari jurnal ilmiah. Selanjutnya akan diikuti penjelasan tentang dasar teori pendukung untuk penelitian, antara lain yaitu panel surya, konverter *SEPIC*, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), dan *Incremental Conductance* (IC).

2.1 Hasil Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian para peneliti telah melakukan penelitian sistem MPPT, konverter DC-DC dan optimasi daya panel surya. Sistem MPPT dan juga konverter DC-DC banyak dikembangkan untuk meningkatkan daya yang dihasilkan panel surya. Penelitian-penelitian yang relevan sebagai acuan penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

Dunia & Mwinyiwiwa (2013) pada penelitiannya menjelaskan tentang perbandingan hasil keluaran yang dihasilkan pada dua konverter, konverter *Cuk* dengan konverter *SEPIC* untuk mengetahui konverter yang baik digunakan pada panel surya. *Output* pada konverter *SEPIC* menghasilkan nilai *ripple* yang kecil dan menghasilkan efisiensi yang lebih besar daripada hasil keluaran konverter *Cuk*.

Tekeshwar & Dixit (2014) pada penelitiannya menganalisa perbandingan metode MPPT, yaitu antara sistem MPPT algoritma *Perturb and Observe* dengan sistem MPPT *Incremental Conductance*. *Output* pada konverter dengan menggunakan sistem MPPT algoritma *Incremental Conductance* menghasilkan keakuratan yang lebih baik dalam mencari titik maksimum panel surya daripada menggunakan sistem MPPT *Perturb and Observe*.

Ronilaya dkk (2018) pada penelitiannya melakukan perbandingan beberapa metode MPPT. Metode MPPT yang diujikan yaitu *Constant Voltage*, *Perturb and Observe* dan *Incremental Conductance*. Tujuan penelitian tersebut untuk mengetahui hasil keluaran daya dengan menggunakan metode MPPT yang

diujikan. Keluaran dengan metode MPPT *Incremental Conductance* menghasilkan efisiensi yang lebih baik dan juga menghasilkan osilasi yang lebih kecil dibandingkan metode MPPT *Constant Voltage* dan metode MPPT *Perturb and Observe*.

Slamet dkk (2014) pada penelitiannya melakukan perbandingan *output* daya pada sistem MPPT yang berbeda. Tujuannya yaitu melakukan perbandingan pada metode MPPT *Perturb and Observe*, *Incremental Conductance* dan *Incremental Conductance* yang ditambah dengan kontroler PI. Hasil yang didapatkan yaitu sistem MPPT *Incremental Conductance* dengan menggunakan kontroler PI dapat mencapai titik daya maksimum yang lebih cepat dan menghasilkan efisiensi yang lebih baik.

Wu dkk (2017) pada penelitiannya menganalisa perbandingan keluaran daya pada sistem *Incremental Conductance* dengan adanya kontroler. Tujuannya yaitu untuk mengetahui keluaran yang dihasilkan pada MPPT *Incremental Conductance* tanpa kontroler dan keluaran yang dihasilkan pada MPPT *Incremental Conductance* dengan menggunakan kontroler PID. Hasil yang dicapai adalah MPPT dengan *Incremental Conductance* dengan kontroler PID dapat mencari titik daya maksimum yang lebih cepat dibandingkan MPPT tanpa adanya kontroler.

Zekry dkk pada penelitiannya menganalisa perbandingan *output* daya pada panel surya. Metode MPPT yang digunakan adalah MPPT *Incremental Conductance* berbasis PID dan MPPT *Perturb and Observe* berbasis PID. Hasil yang diperoleh adalah penggunaan metode MPPT *Incremental Conductance* berbasis PID menghasilkan nilai efisiensi yang lebih baik daripada metode MPPT *Perturb and Observe* berbasis PID. Tabel 2.1. menunjukkan tentang penelitian sistem MPPT dan konverter DC-DC yang telah dilakukan sebelumnya

Tabel 2.1. Penelitian Sistem MPPT dan Konverter DC-DC

No	Judul	Peneliti	Jurnal dan Tahun	Permasalahan	Tujuan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
1	<i>Performance Comparasion Between SEPIC and Cuk Converter for Maximum Power Point Tracking Using Incremental Conductance Technique in Solar Power Applications</i>	Dunia dkk	IJCSE, 2013	Simulasi panel surya dengan menggunakan konverter Cuk dan konverter SEPIC agar dapat mengetahui hasil <i>output</i> daya yang maksimal	Mengetahui hasil daya <i>output</i> pada konverter SEPIC dan konverter Cuk	Menggunakan konverter DC-DC : SEPIC dan Cuk	<i>Output</i> pada konverter SEPIC menghasilkan <i>ripple</i> yang kecil dibandingkan dengan konverter Cuk	Sistem MPPT dengan konverter SEPIC menghasilkan <i>ripple</i> daya <i>output</i> yang lebih kecil daripada konveter Cuk



No	Judul	Peneliti	Jurnal dan Tahun	Permasalahan	Tujuan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
2	<i>Modelling and Analysis of PO and IncCond MPPT Algorithm for PV Array Using Cuk Converter</i>	Takeshwar dan Dixit	IEEE, 2014	Simulasi panel surya dengan menggunakan 2 metode MPPT yang berbeda agar dapat mengetahui <i>output</i> daya yang maksimal	Mengetahui perbandingan hasil <i>output</i> konverter Cuk dengan menggunakan metode MPPT Peturb & Observe dan MPPT IC	Menggunakan konverter DC-DC: Konverter Cuk, Metode MPPT: - Peturb & Observe, IC	Efisiensi daya <i>output</i> dengan : Peturb & Observer rata-rata sebesar 93.8%, dengan metode IC rata-rata sebesar 94.43%	Penerapan metode MPPT IC memberikan keakuratan yang lebih baik untuk mencari daya yang maksimum

No	Judul	Peneliti	Jurnal dan Tahun	Permasalahan	Tujuan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
3	<i>A Double Stage Micro Inverter for Optimal Power Flow Control in Grid Connected PV System</i>	Ronilaya, dkk	IEEE, 2018	Simulasi Panel Surya dengan mikro inverter untuk optimasi daya yang terhubung pada jaringan	Mengetahui hasil keluaran daya pada mikro inverter dengan menggunakan beberapa sistem MPPT	Sistem MPPT yang digunakan untuk perbandingan yaitu : Constant Voltage, Peturb and Observe, Incremental Conductance	Efisiensi rata-rata yang dihasilkan dengan metode : Tanpa MPPT sebesar 67.6%, Constant Voltage sebesar 80.49%, Peturb & Observe sebesar 90.66%, IC sebesar 93.12%	Sistem MPPT yang dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik dan juga mengurangi adanya osilasi pada daya keluaran dengan menggunakan IC



No	Judul	Peneliti	Jurnal dan Tahun	Permasalahan	Tujuan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
4	<i>Implementation of Incremental Conductance Algorithm to Optimize PI Boost Converter for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Arrays</i>	Slamet dkk	MJIIT, 2014	Implementasi panel surya dengan menggunakan IC yang ditambah dengan kontroler PI agar dapat cepat mencapai titik daya maksimal	Mengetahui hasil <i>output</i> daya pada konverter Boost dengan membandingkan sistem MPPT Peturb & Observe, IC, dan IC yang ditambah kontroler PI	Menggunakan konverter DC-DC Boost dengan sistem MPPT IC yang ditambah kontroler PI	Efisiensi rata-rata yang dihasilkan dengan metode : Peturb & Observe sebesar 96.5%, IC sebesar 98.2%, IC +kontroler PI sebesar 99.35%	Sistem MPPT dengan IC yang ditambah kontroler PI dapat mengurangi osilasi dan juga dapat lebih cepat mencapai titik daya maksimum

No	Judul	Peneliti	Sumber dan Tahun	Permasalahan	Tujuan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
5	<i>Study of Improved Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV Systems</i>	Wu, Y. dkk	IEEE, 2017	Simulasi panel surya dengan menggunakan IC yang dimodifikasi agar dapat mencapai titik daya maksimum dengan waktu yang lebih cepat dari IC tanpa adanya modifikasi	Untuk mengetahui hasil keluaran daya pada konverter Buck dengan menggunakan sistem MPPT IC yang telah dimodifikasi	Menggunakan konverter DC-DC Buck, dengan sistem MPPT IC yang ditambah dengan kontroler PID	Daya yang dihasilkan pada iradiasi 1000W/m ² dengan metode : IC sebesar 254.5 W, Kontroler PID sebesar 256.1 W, IC+PID sebesar 256.2	Sistem MPPT IC dengan kontroler PID dapat mencapai nilai titik daya maksimum lebih cepat dibandingkan tanpa adanya kontroler PID



No	Judul	Peneliti	Sumber dan Tahun	Permasalahan	Tujuan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Kesimpulan
6	<i>Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Methods for PV Systems</i>	Zekry, MR dkk	JEE	Simulasi Panel Surya dengan menggunakan metode MPPT berbasis PID agar dapat mempercepat respon dengan adanya gangguan berupa sinar matahari dan suhu yang berubah-ubah	Membandingkan keluaran efisiensi MPPT PO berbasis PID dan MPPT IC berbasis PID pada converter Boost	Menggunakan konverter DC-DC: Converter Boost, Metode MPPT: - Peturb & Observe berbasis PID, - IC berbasis PID	Efisiensi rata-rata yang dihasilkan dengan metode : Peturb & Observe berbasis PID sebesar 95.85%, IC berbasis PID sebesar 95.98%	Metode MPPT IC berbasis PID pada konverter Boost menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi daripada PO berbasis PID

2.2 Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sel surya yaitu teknologi dengan bahan semikonduktor yang dapat memproduksi listrik DC apabila terkena sinar matahari. Sel surya tetap memproduksi listrik apabila terdapat sinar matahari yang mengenai bahan semikonduktor, dan sebaliknya sel surya akan berhenti memproduksi listrik apabila tidak terkena sinar matahari (Luque, 2003).

Sel surya mempunyai karakteristik yang dapat ditunjukkan pada persamaan

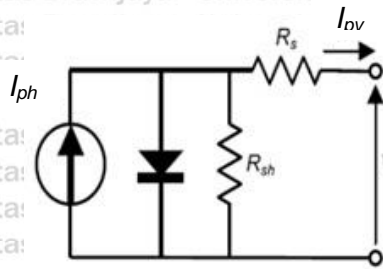
(2-1) (Nema, 2010)

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \frac{q(V+I R_s)}{NKT} - 1 \right) - \frac{(V+I R_s)}{R_{sh}} \dots \dots \dots (2-1)$$

dengan:

- I_{ph} merupakan nilai dari arus hubung singkat (A)
- I_s merupakan nilai dari arus *reverse saturation* pada dioda (A)
- K merupakan nilai dari konstanta Boltzman ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K)
- N merupakan nilai dari faktor idealitas dioda
- q merupakan nilai dari jumlah muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ C)
- R_s merupakan nilai dari tahanan seri diode (Ω)
- R_{sh} merupakan nilai dari tahanan *shunt* diode (Ω)
- T merupakan nilai dari suhu dengan satuan Kelvin ($^{\circ}K$)
- V merupakan nilai dari tegangan pada dioda (V)

Gambar 2.19 merupakan gambar dari rangkaian ekivalen sel surya.



Gambar 2.1. Rangkaian Ekivalen dari Sel Surya

(Sumber: Tito, 2012)

Panel surya adalah kumpulan sel surya yang saling terhubung. Sinar matahari dan suhu dapat mempengaruhi keluaran tegangan dan arus sel surya.

Gambar 2.2 merupakan contoh bentuk dari panel surya.



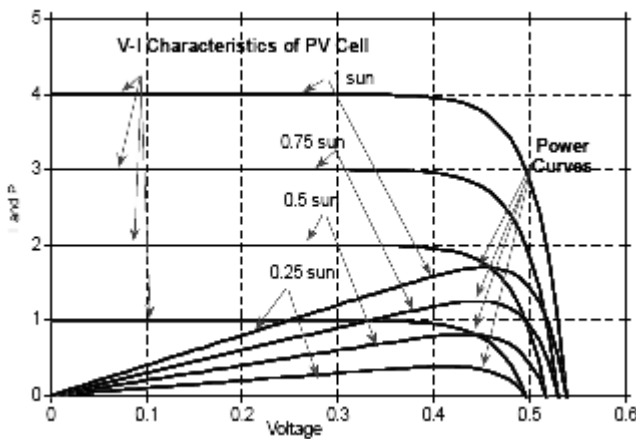
Gambar 2.2. Contoh Bentuk dari Panel Surya

(Sumber: Tito, 2012)

Panel surya mempunyai karakteristik *output* berupa daya, arus dan tegangan yang dihasilkan dengan grafik yang tidak linier. Pada kurva arus-tegangan karakteristik panel surya berbentuk tidak linier. Apabila resistansi beban semakin besar, maka nilai tegangan pada beban yang dihasilkan akan mendekati nilai tegangan *open circuit voltage* (V_{oc}). Apabila nilai resistansi beban kecil, maka arus

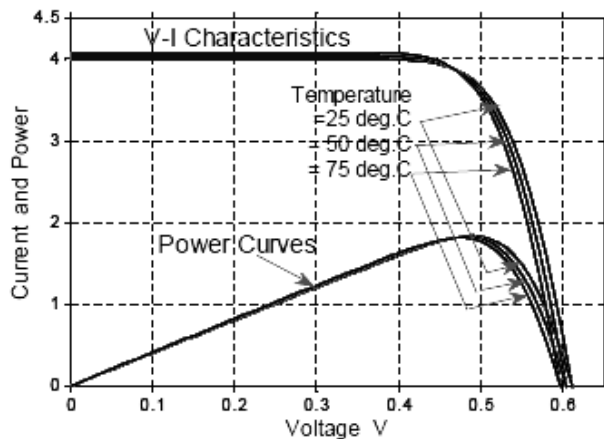
yang dihasilkan yang mengalir pada beban akan mendekati nilai arus *short circuit* (I_{sc}) panel surya.

Selain itu, panel surya juga mempunyai bentuk grafik karakteristik dimana daya terhadap tegangan yang tidak linier. Daya panel surya pada titik maksimum apabila mempunyai tegangan maksimum (V_m) dan arus maksimum (I_m) mengalir ke beban. Penambahan beban memiliki resistansi (R) lebih kecil dari resistansi beban maksimum, maka daya akan meningkat mendekati nilai daya maksimum (P_m) panel surya. Sedangkan penambahan beban yang memiliki resistansi (R) yang lebih besar dari resistansi beban maksimum, maka daya akan menurun dari daya maksimum pada panel surya. Gambar 2.3 serta Gambar 2.4 merupakan kurva karakteristik dari *output* panel surya.



Gambar 2.3. Karakteristik Kurva *Output* Panel Surya Dipengaruhi Perbedaan Radiasi.

(Sumber: Nema, 2010)



Gambar 2.4. Karakteristik Kurva Output Panel Surya Dipengaruhi Perbedaan Suhu

(Sumber: Nema, 2010)

Karakteristik daya yang dihasilkan panel surya yang tidak linier menyebabkan output daya tidak optimal. Upaya untuk meningkatkan efisiensi bisa menggunakan rangkaian konverter, yaitu DC Chopper atau bisa disebut konverter DC to DC. Konverter tersebut merupakan rangkaian elektronik penyesuai level tegangan DC yang dapat digunakan pada saat beban memerlukan tegangan DC dengan nilai level tertentu (Hart, 2010).

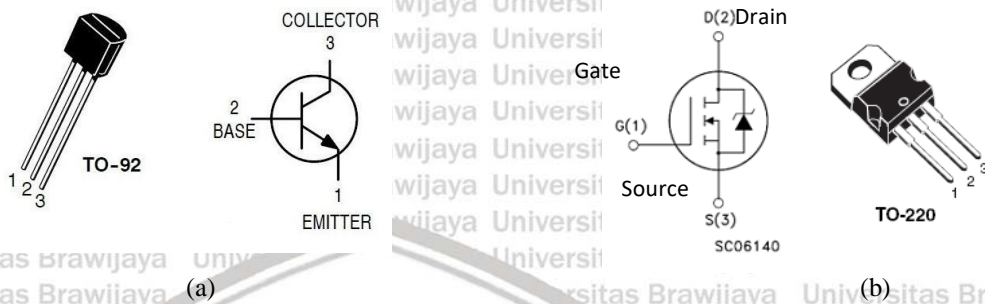
2.3 Konverter

Rangkaian pensaklaran konverter adalah rangkaian alternatif berfungsi sebagai regulator yang dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik. Rangkaian pensaklaran tersebut sering dinamakan DC Chopper atau Konverter DCtoDC.

Komponen elektronik pensaklaran pada umumnya menggunakan transistor atau MOSFET.

Pada Gambar 2.5 (a) digunakan transistor jenis NPN sebagai komponen pensaklaran elektronik yang dapat dibuka atau ditutup dengan cara memberi input pada kaki basis transistor berupa sinyal Pulse Width Modulation (PWM), sehingga terdapat 2 keadaan yaitu saturasi dan cutoff. Pada Gambar 2.5 (b) merupakan

komponen pensaklaran elektronik MOSFET dimana sinyal PWM dapat melewati kaki *gate* MOSFET.

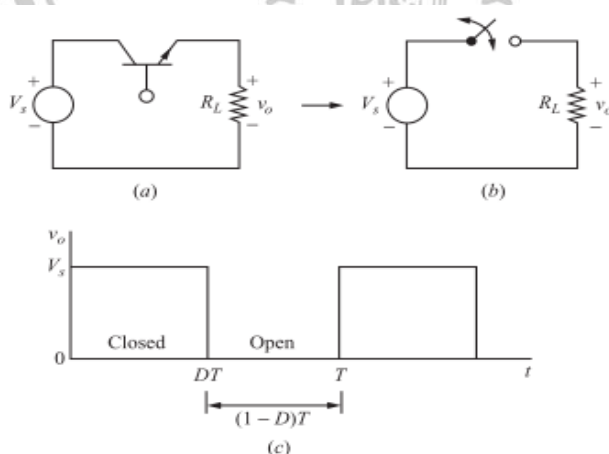


Gambar 2.5. (a) Transistor, (b) MOSFET

(Sumber: (a) Datasheet Transistor 2N222 (b) Datasheet MOSFET IRF640)

Pada pensaklaran terdapat dua kondisi yaitu saat kondisi tertutup dan kondisi terbuka. Kondisi tertutup yaitu kondisi komponen elektronik pensaklaran dalam keadaan *ON*, sedangkan kondisi terbuka dalam keadaan *OFF*. Apabila saklar tertutup maka tegangan sumber akan bernilai sama pada tegangan keluaran. Apabila saklar terbuka yang terjadi adalah tidak terdapat adanya tegangan *output*.

Pada Gambar 2.6 (c) merupakan tegangan *output* yang diperoleh akan membentuk sinyal pulsa.



Gambar 2.6. (a) Dasar Rangkaian *Switching* (b) Rangkaian Ekuivalen Pensaklaran (c) Bentuk Keluaran Tegangan yang Dihasilkan

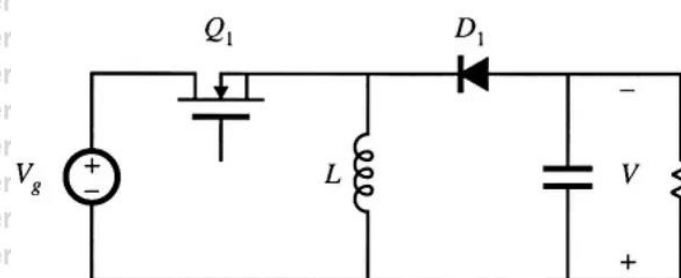
(Sumber: Hart, 2010)

Pensaklaran ideal akan menghasilkan daya berniali nol. Apabila keadaan saklar tersebut terbuka, maka tidak terdapat aliran arus. Sedangkan apabila saklar dalam keadaan tertutup, maka tidak terdapat tegangan. Pengaruh yang dihasilkan yaitu nilai daya yang diserap beban serta efisiensinya bernilai 100%. Pada aplikasinya terdapat daya yang hilang karena tegangan pensaklaran tidak sama dengan nol pada saat kondisi saklar tertutup (Hart, 2010). Konverter DC-DC terdiri dari atas beberapa macam yaitu konverter *Buck Boost*, konverter *Cuk* dan konverter SEPIC.

2.7.1 Konverter *Buck-Boost*

Pada awalnya konverter dikembangkan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan *output*. Konverter *Buck* berfungsi untuk menurunkan tegangan *input*, sehingga diperoleh keluaran tegangan yang lebih kecil daripada tegangan sumbernya. Konverter *Boost* mempunyai fungsi menaikkan tegangan *input*, sehingga diperoleh keluaran tegangan yang nilainya lebih besar daripada tegangan sumbernya.

Perkembangan selanjutnya yaitu *Buck Boost*, dimana *Buck Boost* bisa mengatur keluaran tegangan yang lebih besar atau lebih kecil daripada tegangan sumbernya. Pada Gambar 2.7 adalah skema dari konverter *Buck Boost*. Kekurangan *Buck Boost* dibutuhkan filter besar induktor dan kapasitor pada sisi *input* dan sisi *output* karena konverter jenis ini menghasilkan *ripple* arus yang tinggi (Soedibyo, 2015)

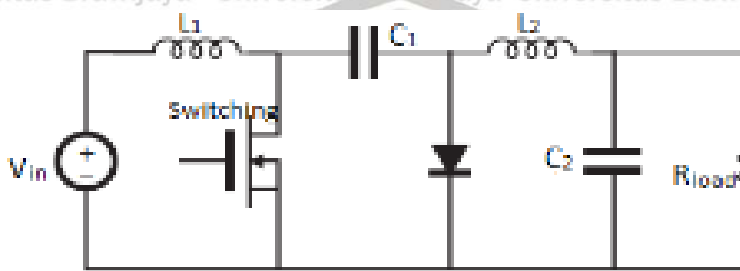


Gambar 2.7. Konverter *Buck Boost*

(Sumber: Soedibyo, 2015)

2.7.2 Konverter Cuk

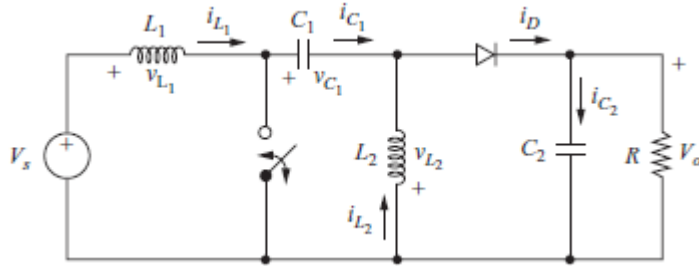
Konverter *Cuk* merupakan perbaikan konverter *Buck Boost* dalam hal mengurangi *ripple* arus yang dihasilkan. Konverter *Cuk* merupakan konverter yang bisa memproduksi nilai dari tegangan *output* lebih rendah atau lebih tinggi dari nilai sumber tegangannya. Namun kekurangan dari konverter jenis ini menghasilkan polaritas tegangan *output* yang terbalik (*inverting*) dengan tegangan *input* (Gozali, 2013). Pada Gambar 2.8 adalah skema dari konverter *Cuk*.



Gambar 2.8. Konverter *Cuk*
(Sumber: Gozali, 2013)

2.7.3 Single Ended Primary Inductor Converter (Konverter SEPIC)

Perbaikan dari kelemahan konverter *Cuk* dikembangkan menjadi konverter *SEPIC*. Konverter tersebut bisa menurunkan atau menaikkan nilai dari keluaran tegangan yang dihasilkan. Pengaturan menurunkan atau menaikkan tegangan keluaran yang dihasilkan dengan mengatur nilai *duty cycle* pada kaki gate MOSFET. Konverter *SEPIC* juga memiliki karakteristik berupa polaritas pada keluaran tegangan yang tidak terbalik (*non inverting*) dengan polaritas tegangan *input*, dan juga terdapat kapasitor kopling sehingga menghasilkan sedikit *ripple* dan juga mencegah adanya pemanasan yang lebih sehingga dapat bekerja pada operasi kerja yang luas (Paranthagan, 2013). Pada Gambar 2.9 merupakan skema konverter *SEPIC*.



Gambar 2.9. Konverter SEPIC
(Sumber : Hart, 2010)

Perancangan pada konverter SEPIC dapat diperoleh dari persamaan berikut

$$D = \frac{V_O + V_D}{V_O + V_i + V_D} \quad \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana

D adalah *duty cycle*

V_O merupakan nilai dari tegangan keluaran yang dihasilkan (V)

V_D merupakan nilai dari tegangan pada Diode (V)

V_i merupakan nilai dari tegangan sumber (V)

Nilai *ripple* arus pada induktor L_1 dan L_2 dapat diperoleh dari persamaan berikut

$$\Delta I_L = I_i \times 40\% = I_o \times \frac{V_o \times 40\%}{V_{imin}} \quad \dots\dots\dots(2-3)$$

Nilai induktor dapat dihitung dari persamaan berikut

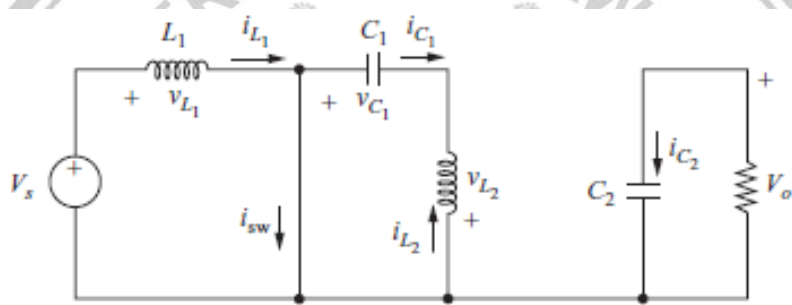
$$L_1 = L_2 = L = \frac{V_i}{\Delta I_L \times f_{sw}} \times D \quad \dots\dots\dots(2-4)$$

Nilai kapasitor *output* dapat diperoleh dari persamaan berikut

$$C_1 = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_{C1}}{V_O} \right) \times f_{sw}} \quad \dots\dots\dots(2-5)$$

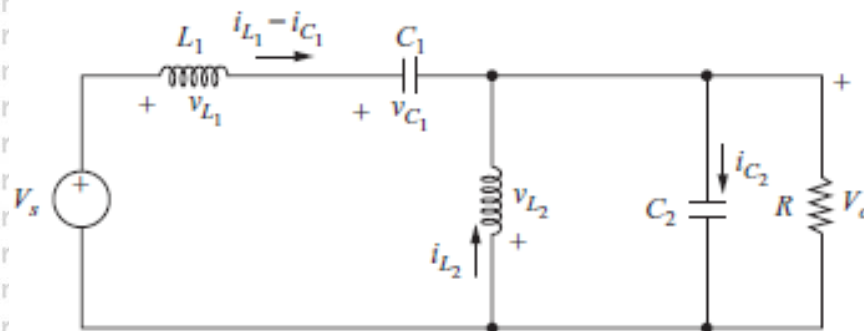
$$C_2 = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_O}{V_O} \right) \times f_{sw}} \quad \dots\dots\dots(2-6)$$

Konverter *SEPIC* terdiri atas induktor, kapasitor diode dan MOSFET. Komponen MOSFET yang berfungsi sebagai komponen pensaklaran yang dipengaruhi oleh nilai *duty cycle* yang masuk pada kaki gate MOSFET. Prinsip kerja konverter *SEPIC* terdapat 2 kerja utama, pada keadaan saat MOSFET menyala dan pada keadaan saat MOSFET mati. Saat keadaan MOSFET nyala, maka MOSFET berlaku *short circuit* dan diode mati sehingga polaritas positif sumber akan terputus dengan polaritas positif pada beban. Selanjutnya, arus mengalir melalui terminal kutub negatif. Apabila nilai dari *duty cycle* tersebut diperbesar, maka arus yang melewati terminal kutub negatif beban akan lebih besar, sehingga polaritas pada beban akan menjadi lebih negatif. Pada Gambar 2.10 menunjukkan konverter *SEPIC* saat keadaan MOSFET menyala.



Gambar 2.10. Konverter *SEPIC* saat keadaan MOSFET nyala
(Sumber: Hart, 2010)

Saat keadaan MOSFET mati, maka MOSFET berlaku sebagai *open circuit*, dan diode akan aktif sehingga positif pada sumber akan tersambung dengan positif beban. Selanjutnya, arus menuju terminal positif. Jika nilai dari *duty cycle* diperkecil maka arus yang melewati positif beban akan lebih besar, sehingga polaritas pada beban akan menjadi lebih positif. Pada Gambar 2.11 menunjukkan konverter *SEPIC* saat keadaan MOSFET mati.

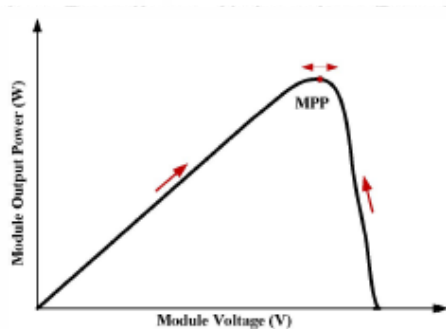


Gambar 2.11. Konverter SEPIC saat keadaan MOSFET mati
(Sumber: Hart, 2010)

2.4 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Panel surya bekerja tidak secara langsung menemukan titik maksimal, namun terdapat metode untuk memperoleh titik maksimal panel surya. Metode yang berfungsi untuk mencari titik kerja maksimal serta mempertahankan nilai maksimal pada panel surya dapat disebut MPPT (Abouda, 2013). Selain itu, MPPT mempertahankan nilai daya tertingginya pada tegangan tertentu yang disebut *voltage maximum power* (V_{MP}) dan arus tertentu yang disebut *current maximum power* (I_{MP}).

MPPT bekerja dengan cara mengubah titik kerja pada kurva karakteristik panel surya, yaitu pada kurva daya terhadap tegangan, sehingga konverter DC-DC bisa mengatur nilai *duty cycle*. *Output* konverter DC-DC nantinya bisa memperoleh daya maksimal yang sesuai kemampuan panel surya berdasarkan intensitas radiasi sinar matahari dan suhu yang masuk (Babgei, 2012).



Gambar 2.12. Sistem MPPT
 (Sumber: Tekeshwar, 2014)

2.5 Incremental Conductance (IC)

Metode MPPT *Incremental Conductance* adalah metode MPPT yang bekerja dengan berdasarkan gradient kurva daya terhadap tegangan kurva karakteristik dari panel surya (Esrarn, 2007). Titik daya maksimal panel surya terletak pada posisi nilai tegangan tertentu disebut V_{MPP} . Karakteristik dari daya terhadap tegangan panel surya adalah suatu bentuk dari fungsi daya terhadap tegangan, ketika memperoleh titik maksimal dimana pada saat tersebut telah mencapai gradient yang nilainya sama dengan nol.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \dots\dots\dots(2-7)$$

Karena, $P = V \times I$

$$\frac{d(V \cdot I)}{dV} = \frac{dV \cdot I + V \cdot dI}{dV} \quad \dots\dots\dots(2-8)$$

$$I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad \dots\dots\dots(2-9)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad \dots\dots\dots(2-10)$$

Metode *Incremental Conductance* membandingkan nilai konduktansi lama dengan konduktansi baru. Konduktansi dapat dihitung secara matematis $G=I/V$.

Perubahan nilai konduktansi akan menentukan naik turunnya PWM sehingga secara bertahap daya *output* panel surya mendekati maksimal pada perubahan

tegangan *input* yang berbeda-beda yang dipengaruhi intensitas cahaya yang berbeda-beda.

Incremental Conductance pada awalnya mengambil data dari sensor berupa arus dan tegangan. Data tersebut merupakan data arus dan tegangan yang diperoleh dari *output* panel surya. Selanjutnya, data arus dan tegangan tersebut akan diinisialisasi variabel baru yaitu ΔV serta ΔI . Nilai ΔV adalah nilai selisih antara tegangan saat ini dengan tegangan sebelumnya, sedangkan ΔI adalah nilai selisih dari arus saat ini dengan arus sebelumnya, seperti persamaan berikut :

$$\Delta V = V_{pv(n)} - V_{pv(n-1)} \dots \dots \dots (2-11)$$

$$\Delta I = I_{pv(n)} - I_{pv(n-1)} \dots \dots \dots (2-12)$$

Kondisi titik maksimum atau *Maximum Power Point* (MPP) merupakan posisi dimana diperoleh daya yang maksimal pada sistem MPPT. Nilai MPP akan dicapai sesuai dengan Persamaan 2-7 yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}, \text{ merupakan kondisi pada saat mencapai titik maksimum (MPP)}$$

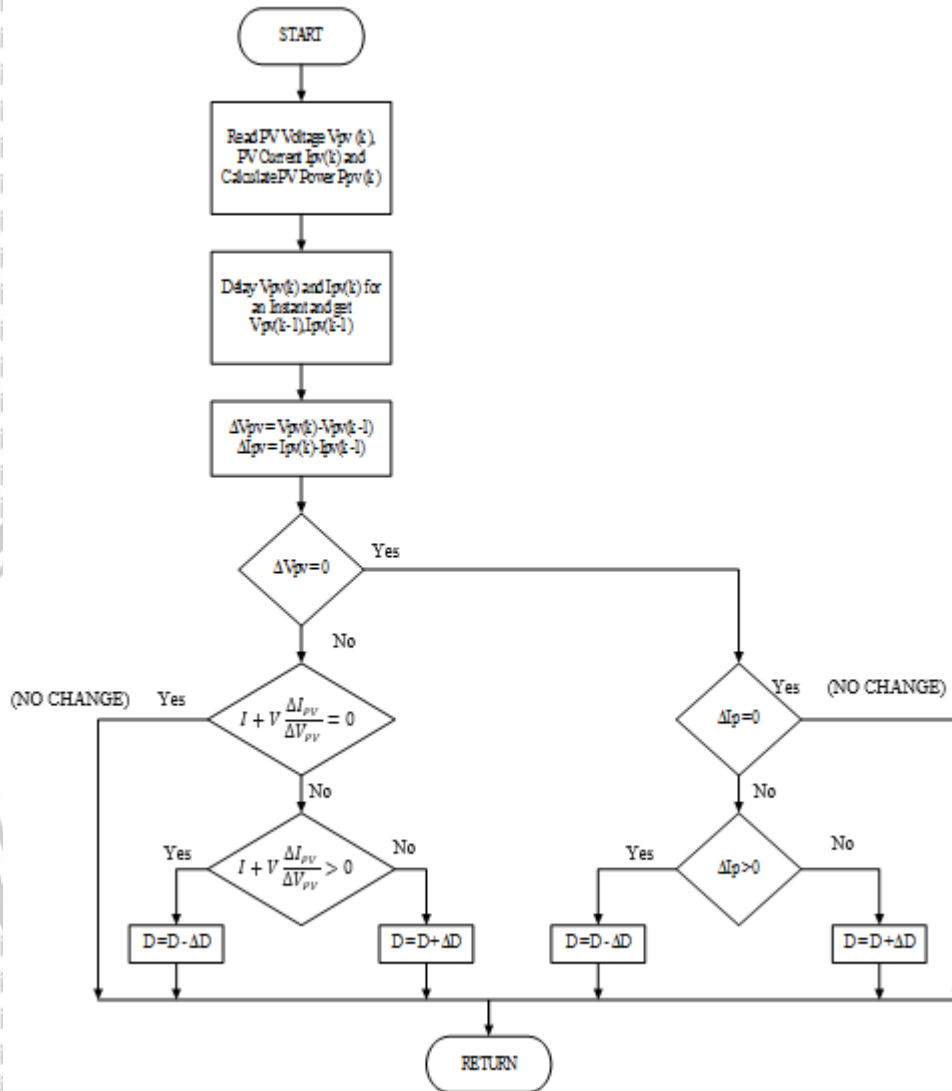
$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}, \text{ merupakan kondisi pada saat di sebelah kiri dari titik maksimum (MPP)}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}, \text{ merupakan kondisi pada saat di sebelah kanan titik maksimum (MPP)}$$

MPP dapat dilacak dengan membandingkan perhitungan sesaat (I/V) dengan *Incremental Conductance* ($\Delta I / \Delta V$) seperti ditunjukkan Persamaan 2-10. Saat kondisi MPP tercapai, *output* panel surya akan dipertahankan pada titik tersebut, kecuali apabila jika terdapat perubahan pada ΔI yang mengindikasikan adanya perubahan kondisi MPP.

Metode *Incremental Conductance* menentukan perubahan *duty cycle* untuk melacak MPP yang baru. Perubahan yang dimaksud yaitu berupa penambahan atau pengurangan *duty cycle*. Nilai perubahan tersebut akan menentukan seberapa cepat MPP dilacak. Pelacakan dapat dicapai dengan cepat apabila penambahan atau pengurangan *duty cycle* lebih besar, namun sistem mungkin tidak dapat beroperasi dengan tepat di MPP (Esram, 2007).

Pada Gambar 2.13 merupakan flowchart metode *Incremental Conductance*.



Gambar 2.13. Diagram Alir dari *Incremental Conductance*

(Sumber: Bharti, 2017)

2.6 Pulse Width Modulation (PWM)

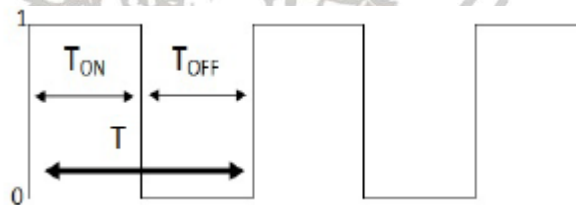
PWM merupakan cara agar dapat mengubah dan mengatur modulasi lebar pulsa dengan nilai amplitudo yang tetap serta nilai frekuensi yang tetap. Pada pengaturan PWM terdapat istilah *duty cycle*. *Duty cycle* adalah nilai presentase keadaan saat tegangan pada nilai maksimal dengan jumlah tegangan pada saat kondisi maksimal dan kondisi minimal (Hart, 2010). Bentuk sinyal PWM bisa dilihat Gambar 2.15.

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \quad (2-13)$$

D = nilai *duty cycle*

T_{ON} = waktu saat tegangan pada saat maksimum

T_{OFF} = waktu saat tegangan bernilai minimum



Gambar 2.14. Sinyal PWM

(Sumber: Hart, 2010)

Sinyal PWM yang dihasilkan nantinya, akan masuk pada kaki gate MOSFET sebagai pengatur pensaklaran pada konverter *SEPIC*. Sinyal PWM yang dihasilkan tidak berupa nilai konstan, akan tetapi bernilai variatif. Sinyal PWM bergantung pada metode MPPT *Incremental Conductance* yang berfungsi sebagai pencari titik maksimum yang terdapat pada panel surya dengan melakukan pengurangan atau penambahan nilai *duty cycle*.

Pada metode MPPT *Incremental Conductance* dapat dimodifikasi dengan menambahkan suatu kontroler. Pada penelitian yang telah melakukan perbandingan suatu konverter dengan dua metode MPPT yang berbeda, yaitu metode MPPT

Incremental Conductance tanpa adanya kontroler dan metode MPPT *Incremental*

Conductance dengan adanya penambahan kontroler. Hasil *output* pada penelitian tersebut, penambahan adanya kontroler pada metode MPPT *Incremental*

Conductance memperoleh akurasi titik daya maksimal panel surya yang baik dibandingkan dengan metode MPPT *Incremental Conductance* konvensional, sehingga nilai efisiensi daya yang dihasilkan lebih baik (Wu dkk, 2017).

Adanya kontroler pada MPPT *Incremental Conductance* tentunya bermanfaat karena dapat lebih cepat menemukan titik daya maksimum pada panel surya. Hal tersebut juga bermanfaat untuk merespon adanya perubahan radiasi sinar dan perubahan suhu di sekitar panel surya, sehingga daya yang dihasilkan akan lebih optimal.

2.7 Kontroler

Sistem kendali dibuat berfungsi untuk menyelesaikan permasalahan tertentu. Pada sistem kendali memiliki keutamaan pada kestabilan sistem. Sistem juga harus mempunyai kestabilan secara relatif. Kualitas kestabilan sistem dapat diketahui dengan memberikan gangguan pada sistem. Selain itu, kualitas sistem dapat dinilai dari respon sistem terhadap input yang diberikan dan peredaman apabila terjadi lonjakan. (Ogata, 1997).

Sistem dapat dikatakan stabil apabila sistem dapat mempertahankan keadaan *steady state* saat terdapat gangguan yang masuk di dalam sistem. Apabila *output* dari sistem tersebut berosilasi terus menerus maka dapat dikatakan bahwa sistem tersebut tidak stabil.

2.7.1 Kontroler Proporsional

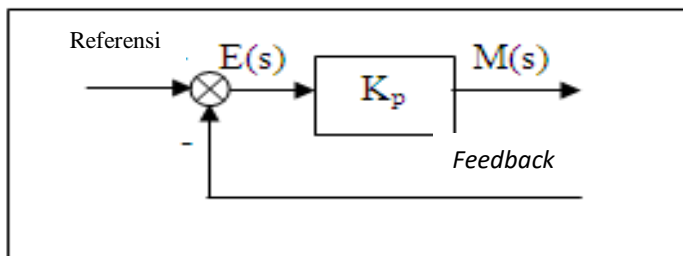
Kontroler proporsional merupakan kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat respon. Hubungan antara sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ dengan $output$ pada kontroler $m(t)$ dapat ditunjukkan pada Persamaan 2-14 :

$$m(t) = K_p e(t) \dots\dots\dots(2-14)$$

Apabila, pada bentuk transformasi Laplace ditunjukkan pada Persamaan 2-15

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \dots\dots\dots(2-15)$$

Pada kontroler proporsional terdapat nilai K_p , dimana nilai tersebut merupakan kepekaan proporsional (Ogata,1997). Gambar 2.15 merupakan gambar dari diagram blok kontroler proporsional.



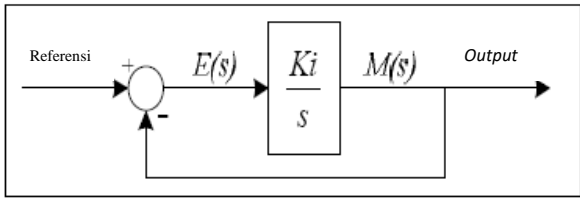
Gambar 2.15. Diagram Blok Kontrol Proporsional (Sumber: Ogata, 1997)

2.7.2 Kontroler Integral

Kontroler integral memiliki fungsi mengurangi adanya *offset* yang dihasilkan kontroler proporsional. $Output$ dari kontroler $m(t)$ dapat dirubah dengan nilai sesuai dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ (Ogata, 1997). Persamaan dari kontroler integral dapat ditunjukkan pada Persamaan 2-16 :

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \dots\dots\dots(2-16)$$

Nilai dari kontrol integral berupa K_i , dimana nilai tersebut merupakan nilai penguatan integral. Gambar 2.16 merupakan gambar dari diagram blok kontroler integral.



Gambar 2.16. Diagram Blok Kontrol Integral
(Sumber: Ogata, 1997)

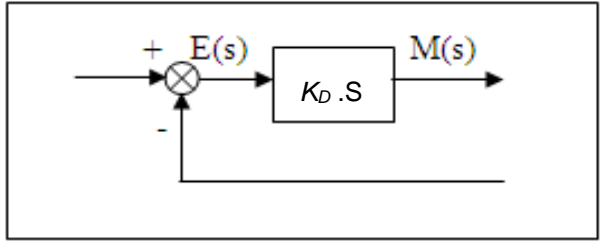
2.7.3 Kontroler Differensial

Kontroler differensial mempunyai fungsi memperbaiki dan mempercepat respons transien sistem kontrol. Perbaikan dan percepatan yang dilakukan kontroler differensial yaitu dengan memperbesar nilai *phase lead* terhadap penguatan kontrol. Selain itu dapat dengan cara mengurangi *phase lag* penguatan kontrol tersebut. (Ogata, 1997).

Perubahan input juga memiliki pengaruh pada kontroler differensial. Apabila tidak terdapat perubahan *input*, maka kontroler differensial akan tidak dapat menghasilkan *output*. Kontroler differensial juga tidak bisa dipakai untuk proses yang terdapat gangguan atau *noise*. Persamaan dari kontroler differensial dapat dinyatakan pada Persamaan 2-17 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d \cdot s \dots \dots \dots (2-17)$$

Nilai dari K_D merupakan nilai penguatan differensial. Gambar 2.17 adalah gambar dari diagram blok kontroler differensial.



Gambar 2.17. Diagram Blok Kontrol Diferensial

(Sumber: Ogata, 1997)

2.7.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

Kontroler PID merupakan gabungan dari tiga control antara lain yaitu proporsional, integral serta diferensial. Kontrol ini juga mempunyai fungsi untuk bisa mempercepat reaksi sistem terhadap *input* yang masuk dan dapat menghilangkan adanya *offset*.

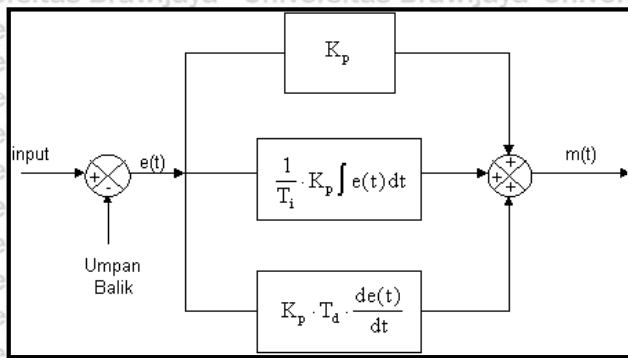
Persamaan dari kontroler PID ini dapat dinyatakan pada persamaan 2-18 :

$$m(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \cdot e(t)dt + Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots (2-18)$$

Dalam bentuk transformasi Laplace dinyatakan pada persamaan 2-19 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Ti \cdot s} + Td \cdot s \right) \dots\dots\dots (2-19)$$

Nilai dari waktu integral dapat dinyatakan Ti. Nilai dari waktu derivatif dapat dinyatakan dengan Td. Gambar 2.18 merupakan gambar dari blok diagram control PID.



Gambar 2.18. Diagram Blok Kontrol PID

(Sumber: Ogata, 1997)

2.7.5 Parameter Kontroler PID

Perhitungan nilai parameter pada kontroler PID berdasarkan atas tinjauan perilaku dari *plant* yang diatur. Hal pertama yang mesti dilakukan sebelum memberikan parameter PID adalah mengetahui perilaku *plant*. Langkah tersebut dilakukan karena pemodelan *plant* yang tidak mudah, sehingga dapat menggunakan metode eksperimen. Metode eksperimen ini didasari reaksi *plant* yang diberikan perubahan di dalam sistemnya. Apabila menggunakan metode eksperimen, maka tidak diperlukan metode dengan pemodelan perilaku *plant* secara matematis.

Parameter PID dapat dilakukan penalaan yang memiliki fungsi untuk memperoleh kerja sistem yang sesuai dengan perancangan. Metode pendekatan dengan cara eksperimen dapat dilakukan dengan *Ziegler Nichols* (Ogata, 1997).

Ada beberapa cara menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan *Ziegler Nichols*. Beberapa cara tersebut antara lain yaitu metode osilasi serta metode kurva reaksi. Pendekatan dengan menggunakan metode kurva reaksi merupakan pendekatan dengan dasar atas reaksi sistem bekerja, dimana reaksi dari sistem tersebut akan membentuk kurva S. Gambar 2.19 adalah reaksi sistem bekerja membentuk kurva S.



Gambar 2.19. Reaksi Sistem Bekerja Membentuk Kurva S
(Sumber: Ogata, 1997)

Pada respon sistem dengan kurva yang menyerupai bentuk-s memiliki dua nilai konstanta, yaitu waktu tunda (T) dan waktu mati (L). Waktu mati merupakan selang waktu kurva reaksi tersebut berubah naik. Waktu tunda merupakan waktu dimana perubahan kurva sudah mencapai 67% dari keadaan *steady state*. Apabila kurva sistem tersebut ditarik garis singgung, maka akan garis tersebut akan memotong garis maksimum dan sumbu absis. Perpotongan antara sumbu absis dengan garis singgung adalah waktu mati. Sedangkan perpotongan sumbu absis dengan garis maksimal merupakan nilai dari waktu tunda yang terhitung dari waktu mati.

Apabila nilai waktu mati dan waktu tunda telah didapatkan maka perhitungan parameter dari PID dapat diperoleh dengan menggunakan *Ziegler Nichols*. Tabel 2.2 merupakan tabel penalaan dengan *Ziegler Nichols*.

Tabel 2.2. Penalaan Parameter PID Kurva Reaksi *Ziegler Nichols*

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	T/L	~	0
PI	$0,9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1,2 T/L$	$2L$	$0,5L$

2.8 Voltage Sensor

Voltage sensor ini dapat mengukur tegangan DC. Modul sensor ini bekerja berdasarkan prinsip *resistive divider*, dimana tegangan yang dideteksi akan dibagi kelipatan 5. Gambar 2.20 merupakan bentuk fisik dari *voltage sensor*. Pada Tabel 2.3 merupakan data dari *voltage sensor*.



Gambar 2.20. *Voltage Sensor*

(Sumber: Tito, 2012)

Tabel 2.3 Data dan Spesifikasi dari *Voltage Sensor*

Spesifikasi	Keterangan
Variasi tegangan <i>input</i>	DC 0 – 25V
Jangkauan deteksi tegangan	DC 0.02445 V – 25 V
Tegangan resolusi analog	0.00489 V
Tegangan DC masukkan <i>interface</i>	Terminal positif dengan VCC Terminal negatif dengan GND

2.9 Sensor ACS712-5A

Sensor ACS712-5A merupakan sensor yang bisa membaca nilai arus. Sensor ini bekerja karena terdapat adanya efek medan. Sensor ACS712-5A berfungsi untuk mengukur arus DC atau AC. Pada sensor ACS712-5A terdapat rangkaian penguat, sehingga kepekaan terhadap pengukuran arus akan meningkat dan juga bisa mengukur perubahan arus yang kecil. Gambar 2.21 merupakan gambar sensor ACS712-5A serta Tabel 2.4 merupakan data spesifikasi sensor ACS712-5A.



Gambar 2.21. Sensor ACS712-5A

(Sumber :Tito, 2012)

Tabel 2.4 Data dan Spesifikasi dari Sensor ACS712-5A

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan <i>input</i>	4.5 – 5.5 V DC
Sensitivitas keluaran	66-185 mV / A
Maksimal pengukuran	20 A
Tegangan <i>output</i>	Tegangan <i>output</i> proporsional terhadap kenaikan arus DC maupun arus AC
Total <i>output error</i>	1.5% pada suhu 25 ⁰ C

2.10 Mikrokontroler Arduino

Produk Arduino terdapat bermacam-macam bentuk, salah satunya adalah model Arduino-nano. Arduino-nano jenis ini merupakan rangkaian modul mikrokontroler berukuran kecil. Tabel 2.6 merupakan nilai dari spesifikasi dan data dari Arduino-nano.

Tabel 2.5 Data dan Spesifikasi dari Arduino-nano

Nama	Keterangan
Mikrokontroler	ATmega328
Operating Value	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Pin Digital I/O	14 (6 pin digunakan sebagai output PWM)
Pin Input Analog	8
DC Current for I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16KB(ATmega168) atau 32KB (ATmega328) 2KB digunakan oleh <i>bootloader</i>
SRAM	1 KB (ATmega168) atau 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 byte (ATmega168) atau 1KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Arduino-nano menggunakan mikrokontroler ATmega328. Gambar 2.23 merupakan gambar fisik dari Arduino-nano.



Gambar 2.22. Mikrokontroler Arduino-nano

(Sumber: <https://www.arduino.com>)

BAB III

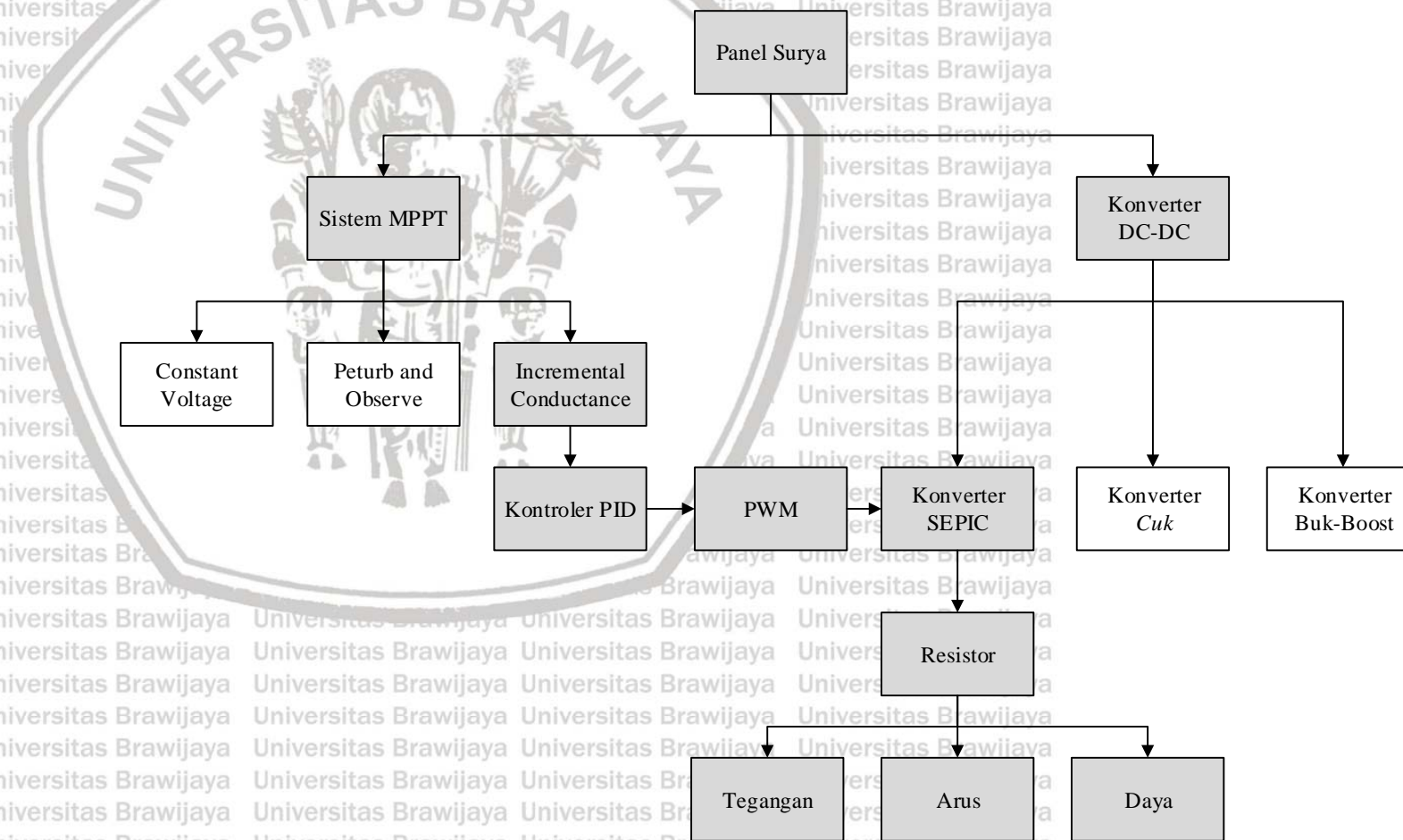
KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Konsep

Panel surya menghasilkan listrik yang dipengaruhi oleh *input* berupa penyinaran matahari dan suhu yang masuk ke panel surya. Optimasi daya pada panel surya bisa dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu sistem MPPT dan konverter DC-DC yang digunakan. Panel surya terhubung pada sistem MPPT dan konverter DC-DC. Sistem MPPT berfungsi untuk mencari dan mendapatkan titik maksimum sesuai karakteristik panel surya. Sistem MPPT digunakan untuk mengatur besarnya nilai PWM untuk pensaklaran konverter DC-DC. Fungsi adanya kontroler untuk mempercepat kerja sistem MPPT menemukan titik maksimum daya panel surya sehingga optimasi daya dapat ditingkatkan. Pada konverter DC-DC terpasang resistor sebagai beban agar dapat mengetahui keluaran daya, arus dan tegangan.

Pada Gambar 3.1 terdapat beberapa sistem MPPT dan konverter DC-DC. Penelitian ini akan menggunakan sistem MPPT *Incremental Conductance* karena efisiensi daya yang dihasilkan lebih baik. Konverter *SEPIC* juga digunakan pada penelitian ini karena *output* yang dihasilkan memiliki efisiensi yang baik dan polaritas tegangan tidak terbalik. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID. Optimasi daya pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan.

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu nilai intensitas sinar matahari sebagai *input* panel surya dan nilai daya *output* pada konverter *SEPIC*. Data yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai analisis data penelitian ini. Data yang akan diamati yaitu tegangan, arus dan daya pada *output* konverter *SEPIC*.



Gambar 3.1. Blok Diagram dari Kerangka Konsep.

■ : Bagian-bagian yang diteliti

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian terbagi menjadi variabel bebas dan terikat. Variabel bebas adalah intensitas cahaya. Variabel-variabel bebas tersebut tentunya akan mempengaruhi variabel-variabel terikat, yaitu pada keluaran yang dihasilkan pada konverter DC-DC.

Variabel-variabel yang dapat dipengaruhi dari perubahan variabel-variabel bebas antara lain :

1. Tegangan
2. Arus
3. Daya

Nilai titik maksimum dari karakteristik panel surya akan berubah, apabila terdapat adanya jumlah intensitas sinar berubah yang masuk ke panel surya. Hal tersebut dapat melihat Gambar 2.2 dan Gambar 2.3. Apabila nilai intensitas cahaya meningkat, maka titik maksimum pada panel surya juga akan meningkat.

3.3 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini yaitu sistem MPPT *Incremental Conductance* yang terhubung pada konverter *SEPIC* dapat melacak titik daya maksimum dengan baik. Penambahan kontroler PID pada sistem MPPT *Incremental Conductance* yang terhubung pada konverter *SEPIC* berfungsi untuk mengurangi *error* tegangan referensi yang diberikan dari *Incremental Conductance*, sehingga dapat meningkatkan nilai daya yang lebih baik daripada menggunakan sistem MPPT *Incremental Conductance* konvensional. Fungsi lain kontroler pada sistem MPPT tersebut juga dapat meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan.

BAB IV

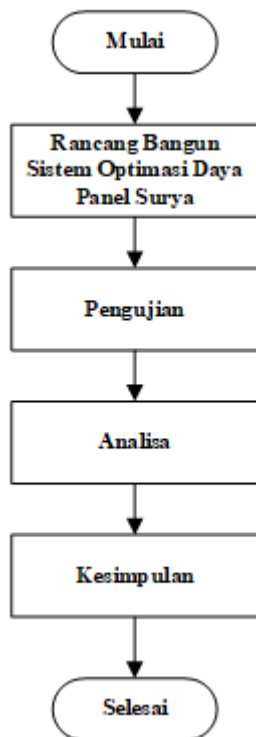
METODE PENELITIAN

4.1 Metodologi Penelitian

Langkah awal pada penelitian diawali dengan merancang konverter *SEPIC* dengan MPPT *Incremental Conductance* yang terhubung pada panel surya agar bisa memperoleh titik maksimum daya panel surya. Selanjutnya, sistem MPPT *Incremental Conductance* akan ditambahkan dengan kontroler sebagai pengatur nilai *duty cycle* yang dibangkitkan oleh sinyal PWM.. Nilai *duty cycle* tersebut akan masuk ke konverter *SEPIC* yang berfungsi untuk pensaklaran. Hasil pengujian pada *output* konverter *SEPIC* dengan metode MPPT *Incremental Conductance* konvensional dan MPPT *Incremental Conductance* berbasis kontroler PID akan dianalisa dan dibandingkan, hingga dapat ditarik suatu kesimpulan. Perancangan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Perancangan parameter panel surya
2. Perancangan *voltage sensor*
3. Perancangan ACS712-5A
4. Perancangan mikrokontroler Arduino
5. Perancangan konverter *SEPIC*
6. Perancangan pengujian keseluruhan

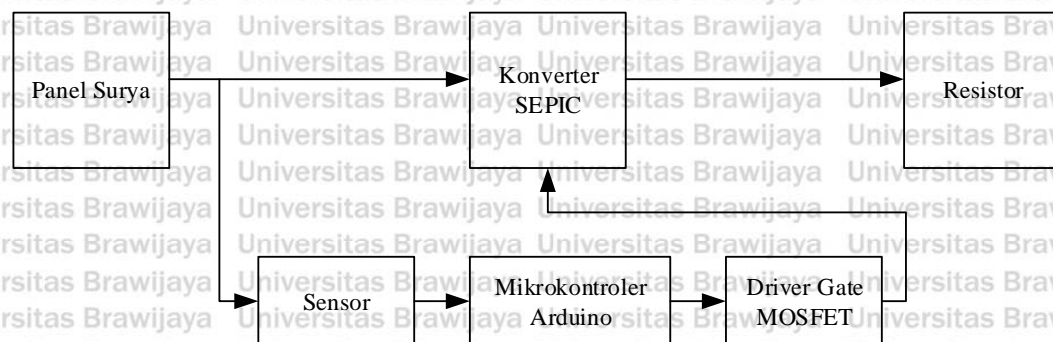
Gambar 4.1 merupakan tahapan penelitian yang dilakukan mengikuti diagram alir.



Gambar 4.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

4.2 Perancangan Sistem

Pada sub-bab ini membahas terkait rancang bangun sistem MPPT *Incremental Conductance* dengan menggunakan mikrokontroler Arduino yang meliputi konverter SEPIC, panel surya, sensor arus dan sensor tegangan. Secara keseluruhan perancangan sistem dapat digambarkan blok diagram sistem pada Gambar 4.2



Gambar 4.2. Blok Diagram Sistem

4.3 Perancangan Parameter Panel Surya

Parameter-parameter panel surya yang digunakan mempunyai data yang bisa dilihat Tabel 4.1 dan Gambar 4.3 merupakan gambar dari fisik panel surya.

Tabel 4.1. Data Panel Surya Dekade 50wp Mono.

Parameter	Spesifikasi
Rated Maximum Power (P _m)	50 W
Tolerance	± 3%
Voltage at P _{max} (V _{MP})	17,5 V
Current at P _{max} (I _{MP})	2,86 A
Open-Circuit Voltage (V _{OC})	21 V
Short-Circuit Current (I _{SC})	3,09 A
Application Class	Class A
Cell Technology	Mono-si
Dimension(mm)	670 x 540 x 30 mm



Gambar 4.3. Panel Surya Dekade 50 wp

4.4 Perancangan Voltage Sensor

Perancangan untuk perangkat sensor tegangan yaitu dengan memakai *voltage sensor*. *Voltage sensor* digunakan untuk membaca nilai tegangan sesuai dengan tegangan yang masuk pada *voltage sensor*. *Input range* yang dimiliki *voltage sensor* sebesar 0-25V, sedangkan nilai dari *output range* yang dimiliki adalah sebesar 0-5V

Voltage sensor digunakan untuk membaca nilai tegangan panel surya yang masuk pada konverter SEPIC dan membaca nilai tegangan yang keluar dari konverter SEPIC.



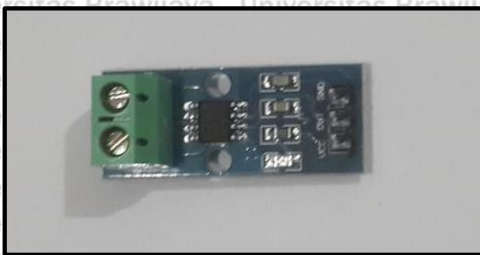
Gambar 4.4. Voltage sensor

4.5 Perancangan Sensor Arus

Perancangan untuk perangkat sensor arus memakai ACS712-5A. Nilai maksimal arus yang bisa dibaca sebesar 5A. Pembacaan sensor ini akan mengubah

arus menjadi tegangan *input* ADC. Sensor ini memiliki sensitivitas 100mv/A yang artinya terdapat kenaikan tegangan 0,1 V pada tiap kenaikan arus sebesar 1 A.

Sensor arus ini berfungsi untuk membaca arus panel surya yang masuk pada konverter SEPIC dan arus yang keluar dari konverter SEPIC. Pembacaan sensor arus tersebut akan masuk pada Mikrokontroler Arduino. Gambar 4.5 merupakan sensor ACS712-5A.



Gambar 4.5. Sensor ACS712-5A

4.6 Perancangan Sistem Mikrokontroler

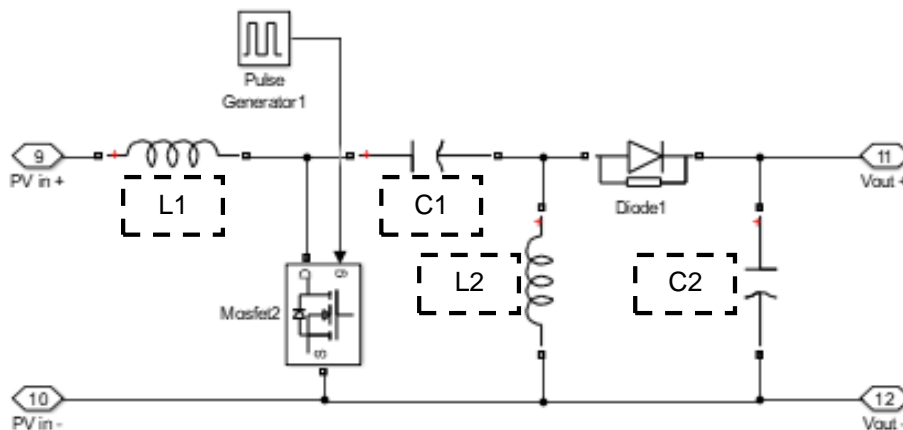
Perancangan sistem ini menggunakan Mikrokontroler Arduino Nano. Mikrokontroler ini berfungsi untuk mengolah data masukan dari sensor tegangan dan sensor arus untuk mengatur sinyal PWM pada kaki *gate* MOSFET rangkaian konverter SEPIC. Tabel 4.2 merupakan konfigurasi pada setiap pin mikrokontroler Arduino Nano.

Tabel 4.2. Konfigurasi Input Output Mikrokontroler Arduino Nano

PORT	PIN	Input/Output	Keterangan
PORTA	A2	Input	Sensor tegangan <i>input</i>
PORTA	A0	Input	Sensor tegangan <i>output</i>
PORTA	A4	Input	Sensor arus <i>input</i>
PORTA	A1	Input	Sensor arus <i>output</i>
PORTB	B3	Output	Sinyal PWM
PORTB	PB2	Output	Tampilan LCD

4.7 Perancangan Konverter SEPIC

Konverter *SEPIC* merupakan konverter yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan *input* DC. *Output* konverter *SEPIC* juga menghasilkan tegangan DC. Bagian-bagian konverter *SEPIC* terdiri atas tegangan *input*, induktor, kapasitor, *Driver Gate* MOSFET, MOSFET, dioda dan resistor. Perancangan rangkaian konverter *SEPIC* bisa ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Rangkaian Skema Konverter *SEPIC*

Perancangan rangkaian konverter *SEPIC* terlebih dahulu menentukan tegangan *output* yang dihasilkan, frekuensi kerja, dan nilai beban resistor yang digunakan agar dapat menentukan nilai-nilai dari induktor dan kapasitor yang akan digunakan.

4.7.1 Perhitungan Induktor

Perhitungan nilai induktor terlebih menentukan nilai *ripple* arus yang akan dibuat. *Ripple* arus dibuat sebesar 5% dari arus yang melewati induktor sebesar 2,86 A yang diperoleh dari *maximum power current* (I_{MPP}) panel surya. Perubahan arus induktor (ΔI_L) dapat dihitung dengan Persamaan (2-3):

$$\Delta I_L = I_i \times 0,05 = 2,86 \times 0,05 = 0,143 \text{ A}$$

Nilai induktor yang ditentukan melalui perubahan arus induktor tidak lebih dari 5% terhadap arus induktor rata-rata. Pada perancangan ini frekuensi dibuat sebesar 40 kHz. Agar dapat memperoleh nilai induktor L_1 maksimal, maka nilai *duty cycle* ditentukan sebesar 1. Persamaan (2-4) akan memperoleh nilai Induktor :

$$L_1 = L_2 = L = \frac{V_i}{\Delta I_L \times f_{sw}} D$$

$$L = \frac{17,5}{0,143 \times 40000} \times 1 = 3,05 \text{ mH}$$

4.7.2 Perhitungan Kapasitor

V_s adalah *nominal voltage* (V_{mpp}) dari panel surya dan V_o adalah tegangan keluaran yang diinginkan dalam perancangan. *Ripple* tegangan pada kapasitor C_1 dibuat tidak lebih dari 5% sehingga nilai *ripple* tegangan maksimumnya sebesar :

$$\Delta V_{C1} = 0,05 \times V_s = 0,05 \times 17,5 = 0,875 \text{ V}$$

Ripple tegangan pada kapasitor C_2 dibuat tidak lebih dari 5% sehingga diperoleh :

$$\Delta V_{C2} = 0,05 \times V_o = 0,05 \times 15 = 0,75 \text{ V}$$

Agar dapat memperoleh *maximum power* (P_{max}) panel surya, maka nilai R pengganti beban sebesar :

$$R = \frac{V_o^2}{P_o} = \frac{15^2}{50} = 4,5 \Omega$$

Nilai C_1 dapat diperoleh dengan menghitung sesuai Persamaan (2-5)

$$C_1 = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_{C1}}{V_o} \right) \times f_{sw}}$$

$$C_1 = \frac{1}{4,5 \left(\frac{0,875}{15} \right) \times 40000} = 95,23 \mu F$$

Nilai C_2 dapat diperoleh dengan menghitung sesuai Persamaan (2-6)

$$C_2 = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) \times f_{sw}}$$

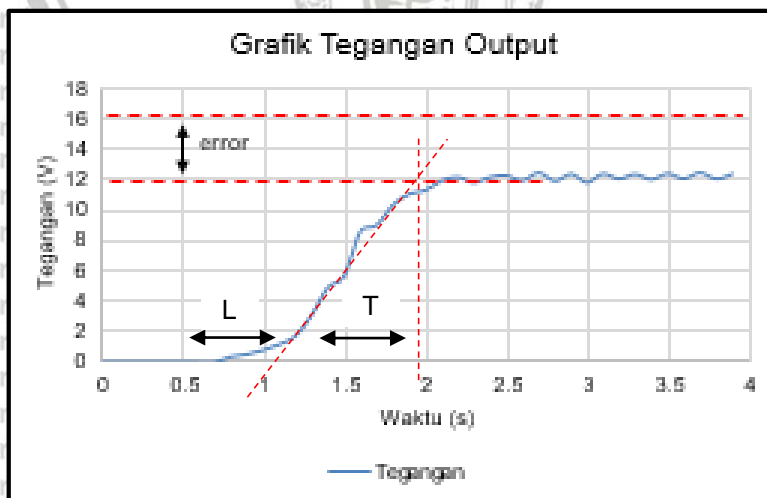
$$C_2 = \frac{1}{4,5 \left(\frac{0,75}{15} \right) \times 40000} = 111,11 \mu F$$

4.7.3 Pemilihan MOSFET

Tegangan *drain-source* (V_{DS}) MOSFET dapat mencapai 17 V diperoleh dari *nominal voltage* panel surya. MOSFET yang digunakan tipe IRF540 dengan nilai maksimum $I_D = 28$ A dan $V_{DS} = 100$ V.

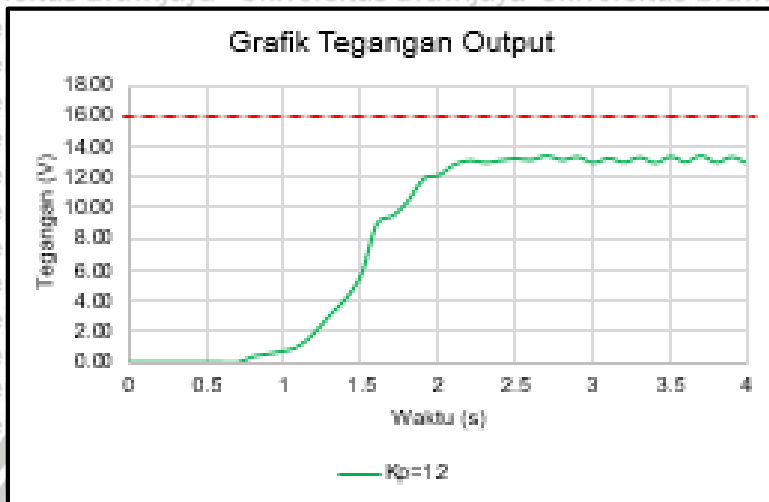
4.8 Perancangan Pengujian Keseluruhan

Perancangan pengujian keseluruhan diperlukan untuk mengetahui hasil rangkaian yang telah dibuat sama dengan rancangan awal. Perancangan kontroler juga diperlukan untuk mengetahui nilai kontroler yang tepat untuk sistem yang telah dibuat. Langkah awal untuk dapat mengetahui nilai kontroler yang tepat yaitu mengetahui terlebih dahulu karakteristik *plant* sistem. Gambar 4.7 merupakan gambar karakteristik *plant*.



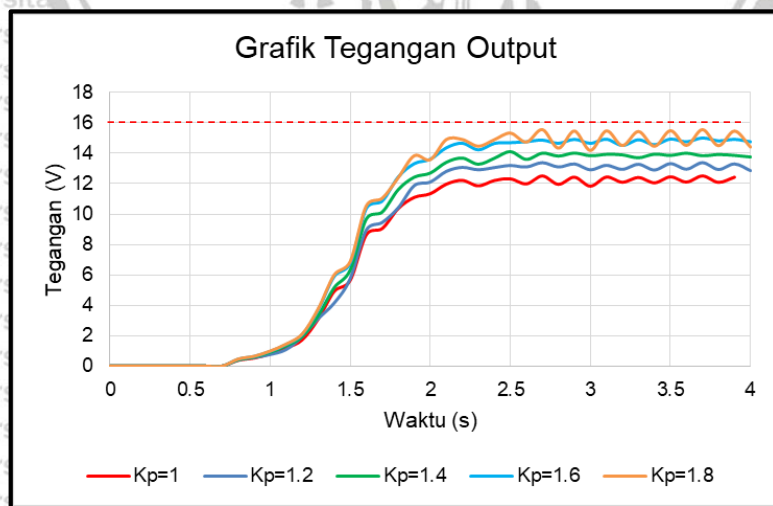
Gambar 4.7. Karakteristik *Plant*

Karakteristik plant menunjukkan bahwa bentuk dari kurva karakteristik yang dihasilkan telah menyerupai huruf-S, sehingga bisa menggunakan *tuning* nilai K_p dengan menggunakan *Ziegler Nichols*. Gambar 4.8 adalah gambar hasil *tuning* menggunakan *Ziegler Nichols* dengan nilai K_p 1.2.



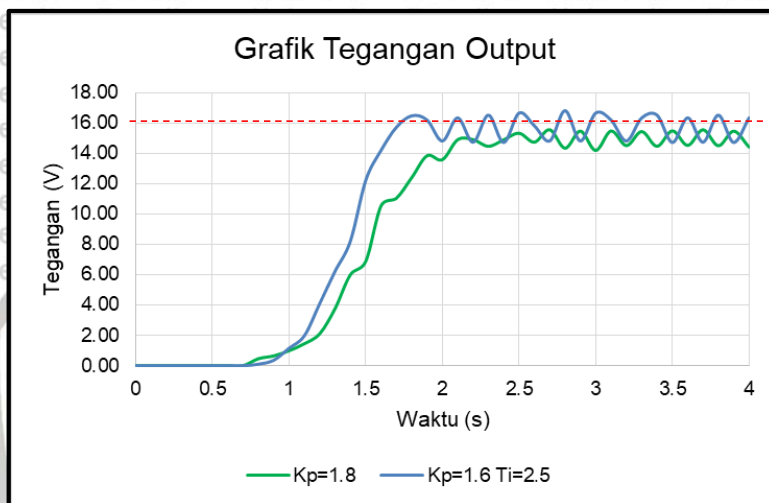
Gambar 4.8. Tuning dengan *Ziegler Nichols*

Berdasarkan hasil tuning dengan *Ziegler Nichols* diperoleh nilai parameter K_p yang diberikan masih terdapat *error*. Maka, bisa ditarik kesimpulan awal bahwa nilai parameter K_p dengan *Ziegler Nichols* tidak sesuai dengan sistem. Penentuan nilai parameter K_p selanjutnya dilakukan dengan cara *hand-tuning*. Gambar 4.9 adalah grafik respon hasil pengujian nilai parameter K_p .



Gambar 4.9. Grafik Kurva Respon dari Sistem dengan Variasi Nilai K_p

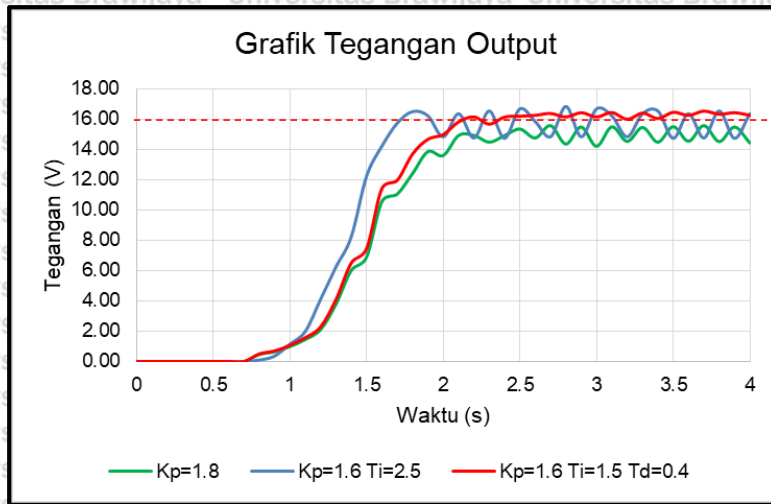
Berdasarkan pengujian nilai parameter K_p masih terdapat *error* dan saat nilai K_p ditambah maka yang terjadi grafik sistem menjadi osilasi. Pengujian selanjutnya yaitu dengan menambahkan nilai parameter T_i pada sistem. Gambar 4.10 adalah grafik respon pengujian nilai parameter K_p dan T_i yang diberikan pada sistem. Hasil percobaan diperoleh nilai $K_p=1.8$ dan $T_i=2.5$ menghasilkan respon sistem sesuai dengan *setpoint* yang diberikan, namun respon masih mengalami osilasi saat sistem mencapai *steady state*.



Gambar 4.10. Grafik Respon Sistem dengan Nilai K_p dan T_i

Percobaan selanjutnya yaitu dengan menambahkan nilai T_d untuk mengurangi osilasi pada saat sistem *steady-state*. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem dapat mencapai *setpoint* yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.

Parameter yang digunakan yaitu $K_p=1.6$ $T_i=1.5$ dan $T_d=0.4$.



Gambar 4.11. Grafik Respon Sistem dengan Nilai Kp Ti dan Td



BAB V

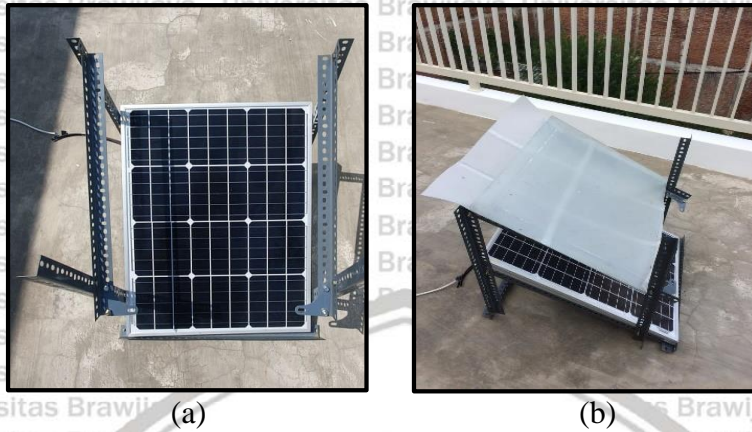
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan agar bisa mengetahui keberhasilan sistem MPPT *Incremental Conductance* berbasis PID dengan konverter SEPIC yang telah dibuat berdasarkan rancangan. Tujuan dari hasil pengujian yaitu memperoleh data-data berupa tegangan, arus dan daya yang dihasilkan. Hasil pengujian yang dapat diperoleh sebagai berikut :

1. Hasil pengujian panel surya
2. Hasil pengujian *voltage sensor*
3. Hasil pengujian sensor ACS712-5A
4. Hasil pengujian sinyal PWM
5. Hasil pengujian konverter SEPIC
6. Hasil pengujian keseluruhan sistem

5.1. Hasil Pengujian Panel Surya

Pengujian dilakukan agar bisa mengetahui karakteristik arus dan tegangan yang dihasilkan panel surya. Pengujian ini dilakukan dengan cara menghubungkan panel surya dengan resistor dan mengukur arus serta tegangan yang masuk pada resistor. Selanjutnya, panel surya ditempatkan pada tempat terbuka yang langsung terkena paparan sinar matahari. Selanjutnya terdapat dua kali pengujian pertama dimana panel surya tidak tertutup kertas kalkir dan pengujian kedua tertutup kertas kalkir. Gambar 5.1 merupakan hasil pengujian karakteristik panel surya Dekade 50wp.



Gambar 5.1. (a) Pengujian Pertama Karakteristik Panel Surya tanpa Tertutup Kertas Kalkir, (b) Pengujian Kedua Karakteristik Panel Surya Tertutup Kertas Kalkir.

Tabel 5.1 merupakan data uji karakteristik panel surya tanpa terutup kertas kalkir. Pada Tabel 5.2 merupakan data hasil uji karakteristik panel surya yang tertutup kertas kalkir. Hasil uji ini dilakukan pada tanggal 28 Juni 2019 pada pukul 08.30.

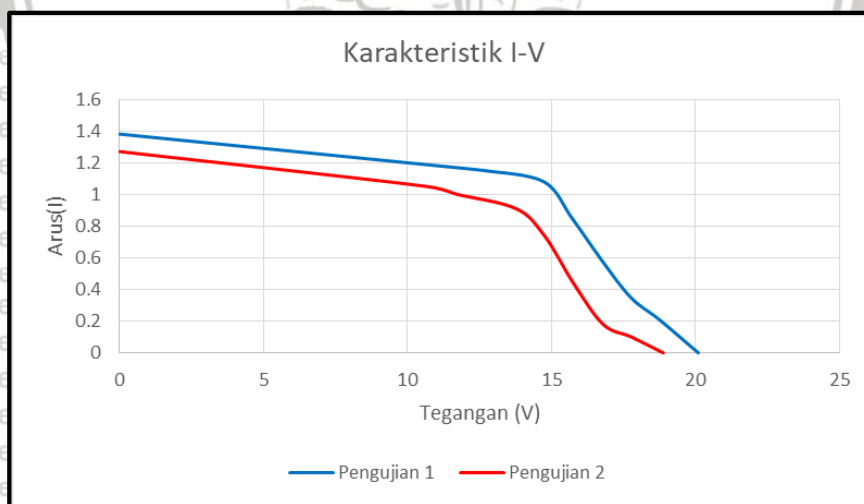
Tabel 5.1 Pengujian 1 Panel Surya 50 wp pukul 08.30

R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Open Circuit	20.1	0	0
40	18.74	0.21	3.94
18	17.75	0.35	6.21
11	16.72	0.59	9.86
7	15.71	0.85	13.35
5	14.73	1.08	15.91
4	12.68	1.15	14.58
3	11.63	1.17	13.61
Short Circuit	0	1.38	0

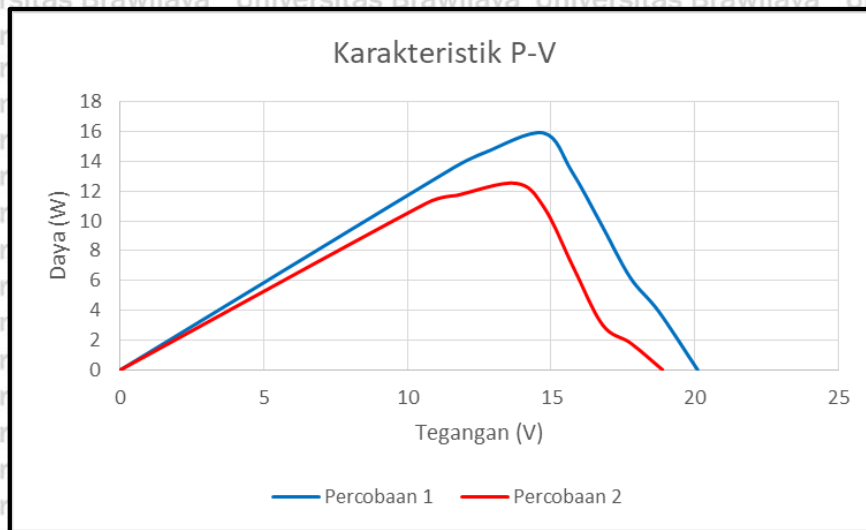
Tabel 5.2 Pengujian 2 Panel Surya 50 wp pukul 08.30

R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Open Circuit	18.88	0	0
40	17.78	0.1	1.78
18	16.79	0.18	3.02
11	15.76	0.44	6.93
7	14.75	0.74	10.92
5	13.77	0.91	12.53
4	11.72	1	11.72
3	10.67	1.05	11.20
Short Circuit	0	1.27	0

Pada Gambar 5.2 merupakan hasil uji karakteristik arus terhadap tegangan dari panel surya Dekade 50wp, sedangkan Gambar 5.3 hasil uji karakteristik kurva daya terhadap tegangan dari panel surya Dekade 50wp.



Gambar 5.2. Kurva I-V Panel Surya Dekade 50wp Pukul 08.30



Gambar 5.3. Kurva P-V Panel Surya Dekade 50wp Pukul 08.30

Pengujian selanjutnya yaitu pengujian karakteristik panel surya pada pukul 10.30. Pada pengujian ini juga terdapat dua kali pengujian, pengujian pertama panel surya tidak tertutup kertas kalkir dan pengujian kedua tertutup kertas kalkir. Pada Tabel 5.3 merupakan data hasil uji karakteristik panel surya Dekade 50wp tanpa tertutup kertas kalkir. Pada Tabel 5.4 merupakan hasil uji karakteristik panel surya Dekade 50wp dengan tertutup kertas kalkir. Pengujian dilakukan tanggal 28 Juni 2019 pada pukul 12.30.

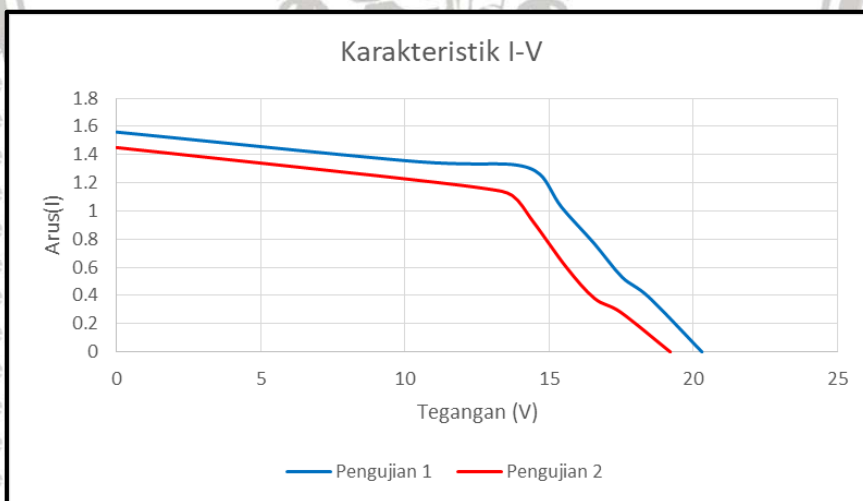
Tabel 5.3 Pengujian 1 Panel Surya 50 wp pukul 12.30

R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Open Circuit	20.3	0	0
40	18.45	0.39	7.20
18	17.53	0.53	9.29
11	16.56	0.77	12.75
7	15.42	1.03	15.88
5	14.68	1.26	18.50
4	13.71	1.33	18.23
3	10.44	1.35	14.09
Short Circuit	0	1.56	0

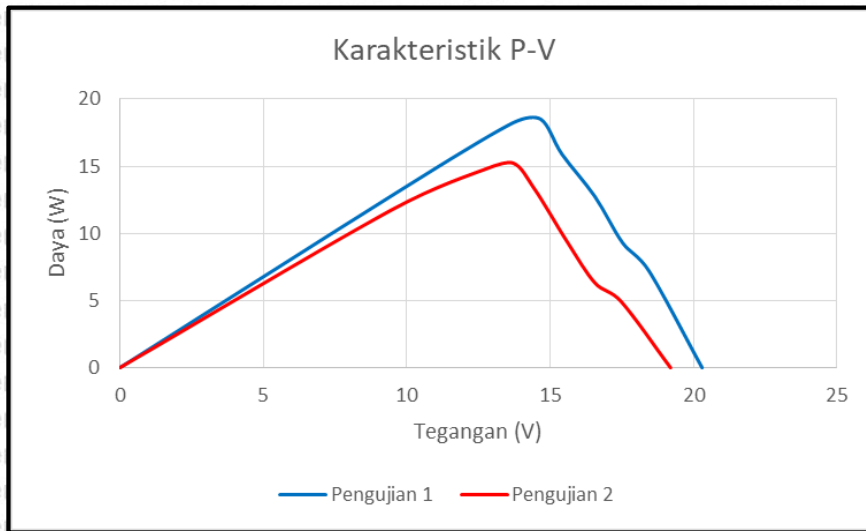
Tabel 5.4 Pengujian 2 Panel Surya 50 wp pukul 12.30

R (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Open Circuit	19.2	0	0
40	17.49	0.28	4.90
18	16.57	0.38	6.30
11	15.6	0.6	9.36
7	14.46	0.92	13.30
5	13.72	1.11	15.23
4	12.75	1.16	14.79
3	9.48	1.24	11.76
Short Circuit	0	1.45	0

Pada Gambar 5.4 merupakan hasil uji karakteristik arus terhadap tegangan dari panel surya Dekade 50wp, sedangkan Gambar 5.5 hasil uji karakteristik kurva daya terhadap tegangan dari panel surya Dekade 50wp.



Gambar 5.4. Kurva I-V Panel Surya Dekade 50wp Pukul 12.30



Gambar 5.5. Kurva P-V Panel Surya Dekade 50wp Pukul 12.30

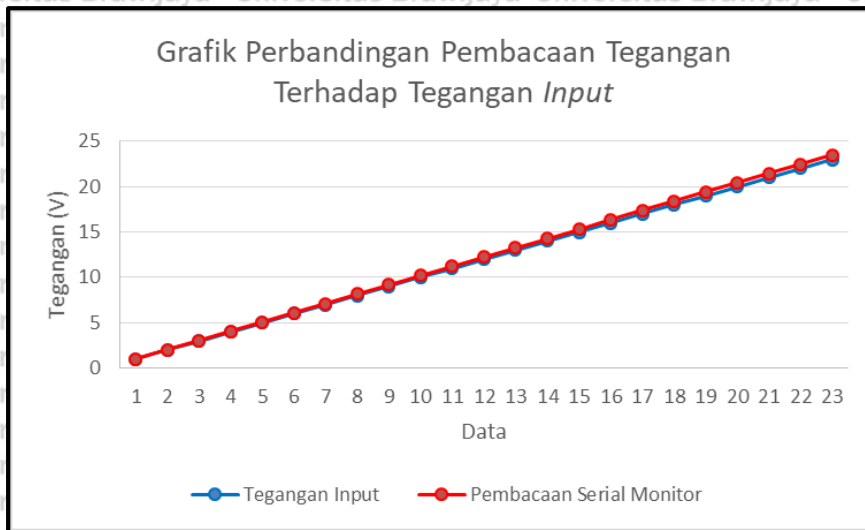
5.2. Hasil Pengujian Voltage Sensor

Pengujian *voltage sensor* ini mempunyai fungsi untuk mengetahui pembacaan sensor tegangan sesuai tegangan yang diberikan. Tabel 5.5 merupakan hasil pengujian sensor tegangan dan Gambar 5.6 merupakan grafik pengujian pembacaan sensor tegangan.

Tabel 5.5 Hasil Uji *Voltage Sensor*

Data	Vin (V)	Pembacaan Sensor (V)	Pembacaan Serial Monitor (V)	Selish (V)	Error (%)
1	1	0.2	1	0	0
2	2	0.42	2.03	0.03	1.48
3	3	0.63	3.03	0.03	0.99
4	4	0.86	4.05	0.05	1.23
5	5	1.07	5.07	0.07	1.38
6	6	1.28	6.1	0.1	1.64
7	7	1.49	7.13	0.13	1.82
8	8	1.64	8.15	0.15	1.84
9	9	1.84	9.18	0.18	1.96
10	10	2.05	10.2	0.2	1.96
11	11	2.25	11.23	0.23	2.05
12	12	2.44	12.25	0.25	2.04
13	13	2.64	13.27	0.27	2.03
14	14	2.84	14.3	0.3	2.1
15	15	3.02	15.32	0.32	2.09
16	16	3.27	16.35	0.35	2.14
17	17	3.43	17.37	0.37	2.13
18	18	3.64	18.4	0.4	2.17
19	19	3.89	19.42	0.42	2.16
20	20	4.03	20.45	0.45	2.2
21	21	4.23	21.47	0.47	2.19
22	22	4.43	22.5	0.5	2.22
23	23	4.63	23.52	0.52	2.21
Rata-rata				0.25	1.83





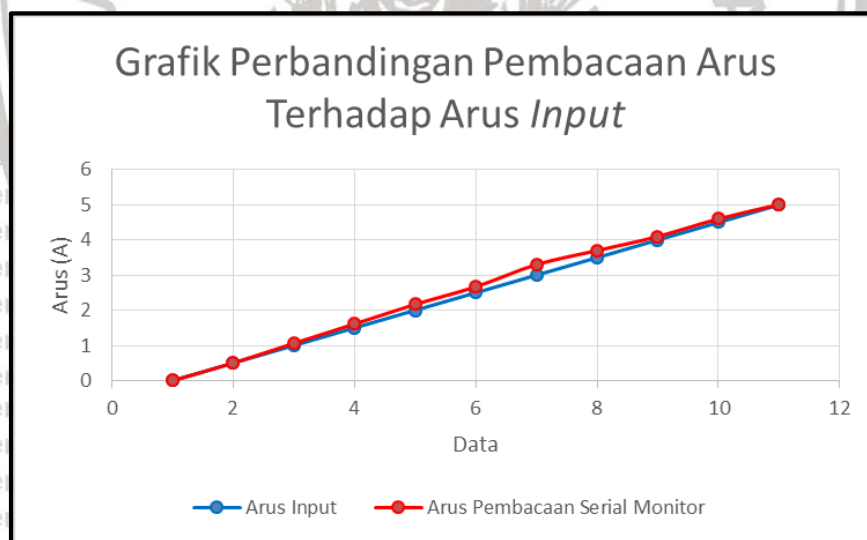
Gambar 5.6. Grafik Pengujian Pembacaan Sensor Tegangan

5.3. Hasil Pengujian Sensor ACS712-5A

Pengujian sensor ACS712-5 mempunyai fungsi untuk mengetahui pembacaan nilai arus sesuai dengan arus yang diberikan. Tabel 5.6 merupakan data hasil uji sensor ACS712-5A serta Gambar 5.7 merupakan grafik uji pembacaan sensor ACS712-5A.

Tabel 5.6 Hasil Uji Sensor Arus ACS712-5A

Data	Arus Input (A)	Pembacaan Serial Monitor (A)	Selisih (A)	Error (%)
1	0	0	0	0
2	0.5	0.5	0	0
3	1	1.06	0.06	5.66
4	1.5	1.61	0.11	6.83
5	2	2.17	0.17	7.83
6	2.5	2.67	0.17	6.37
7	3	3.3	0.3	9.09
8	3.5	3.7	0.2	5.41
9	4	4.1	0.1	2.44
10	4.5	4.6	0.1	2.17
11	5	5.01	0.01	0.2
Rata-rata			0.11	4.18

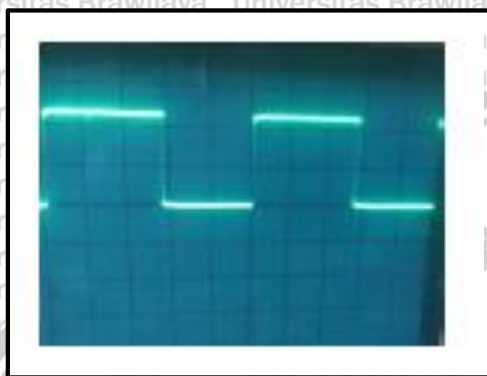


Gambar 5.7. Grafik Pengujian Pembacaan Sensor Arus ACS712

5.4. Pengujian Sinyal PWM

Pengujian sinyal PWM berfungsi untuk dapat mengetahui sinyal PWM yang dihasilkan mikrokontroler sesuai dengan nilai frekuensi sebesar 40 kHz. Pada pengujian ini, nilai duty cycle diberikan pada sistem dengan nilai yang variasi.

Gambar 5.8 merupakan gambar pengujian sinyal PWM.

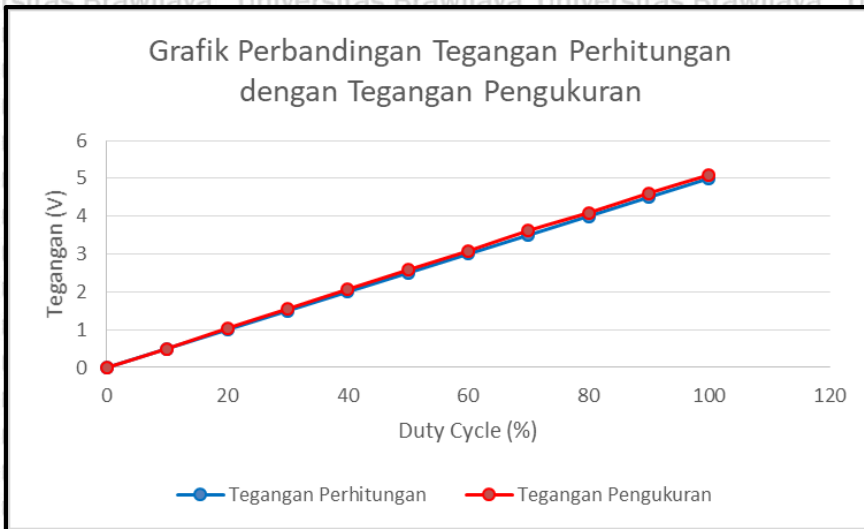


Gambar 5.8. Pengujian Sinyal PWM

Tabel 5.7 yaitu data hasil uji sinyal PWM serta Gambar 5.9 merupakan grafik hasil uji sinyal PWM.

Tabel 5.7 Hasil Uji Sinyal PWM

No	Duty Cycle (%)	Tegangan Perhitungan (V)	Tegangan Pengukuran (V)	Selisih (V)	Error (%)
1	0	0	0	0	0
2	10	0.5	0.5	0	0
3	20	1	1.04	0.04	3.85
4	30	1.5	1.55	0.05	3.23
5	40	2	2.07	0.07	3.38
6	50	2.5	2.58	0.08	3.1
7	60	3	3.08	0.08	2.6
8	70	3.5	3.62	0.12	3.31
9	80	4	4.09	0.09	2.2
10	90	4.5	4.61	0.11	2.39
11	100	5	5.09	0.09	1.77
Rata-rata				0.07	2.35



Gambar 5.9. Gambar Grafik Hasil Uji Sinyal PWM

5.5. Pengujian Konverter SEPIC

Pengujian konverter SEPIC dilakukan untuk mengetahui respon konverter SEPIC terhadap perubahan *duty cycle*. Gambar 5.10 merupakan rangkaian SEPIC.



Gambar 5.10. Konverter SEPIC

Pengujian SEPIC juga berfungsi untuk mengetahui nilai efisiensi dan *error* yang dihasilkan. Efisiensi dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

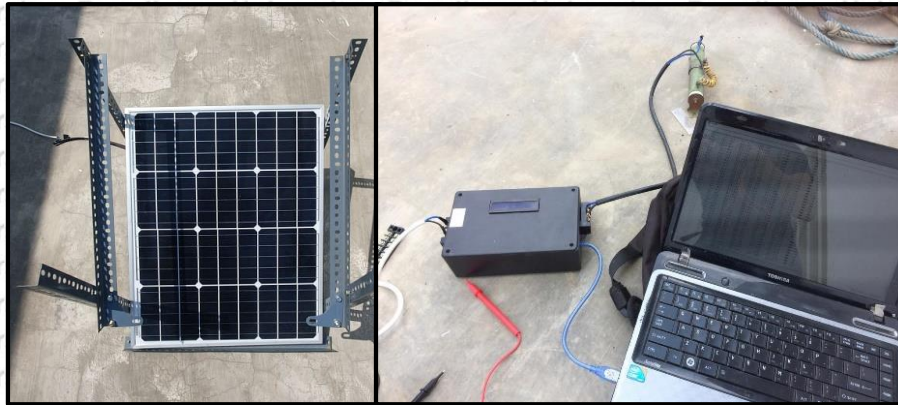
$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{V_{out} \times I_{out}}{V_{in} \times I_{in}} \times 100\%$$

Tabel 5.8 Hasil Uji Konverter SEPIC

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	η (%)
30	20	0.23	14.9	0.27	4.6	4.023	87.46
35	19.3	0.24	14.9	0.27	4.632	4.023	86.85
40	16.4	0.29	14.8	0.27	4.756	3.996	84.02
45	15.3	0.32	14.8	0.26	4.896	3.848	78.59
50	14.6	0.31	14.5	0.25	4.526	3.625	80.09
55	12.7	0.4	14.5	0.26	5.08	3.77	74.21
60	10.4	0.47	14.5	0.25	4.888	3.625	74.16
Rata-Rata					4.77	3.84	80.77

5.6. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem mempunyai fungsi agar mengetahui rancang bangun alat yang telah dikerjakan sesuai rancangna awal. Pada pengujin ini seluruh blok rangkaian telah terhubung. Selanjutnya, memasukkan nilai PID yang telah ditentukan dan mengamati hasil kerja alat tersebut. Gambar 5.11 adalah gambar alat untuk pengujian keseluruhan.



Gambar 5.11. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pada pengujian pertama ini dilakukan pada pukul 09.00 dengan membandingkan antara MPPT IC konvensional dengan MPPT IC menggunakan kontroler PID. Tabel 5.9 merupakan data hasil uji sistem MPPT IC konvensional. Tabel 5.10 merupakan data hasil uji sistem MPPT IC dengan kontroler PID

Tabel 5.9 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC Konvensional Pada Jam 09.00

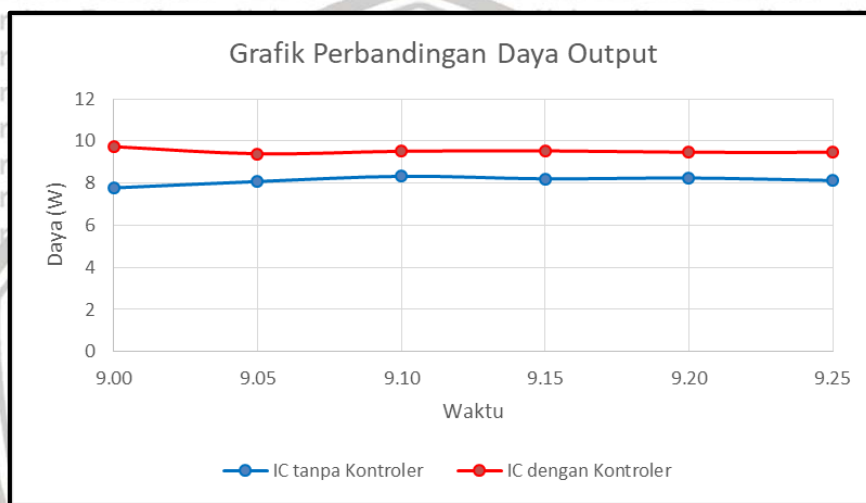
Jam	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{in} (watt)	P _{out} (watt)	η (%)
9.00	14.32	0.96	11.97	0.65	13.75	7.78	56.59
9.05	14.34	0.98	12.44	0.65	14.05	8.08	57.53
9.10	14.32	1.01	12.44	0.67	14.32	8.33	58.2
9.15	14.67	0.98	12.44	0.66	14.38	8.21	57.1
9.20	14.22	1.08	11.96	0.69	14.22	8.25	58.03
9.25	14.25	1.01	12.51	0.65	14.39	8.13	56.49
Rata-rata Efisiensi							57.32

Tabel 5.10 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC dengan kontroler PID Pada Jam 09.00

Jam	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{in} (watt)	P _{out} (watt)	η (%)
9.00	14.8	1.07	14.12	0.69	14.8	9.74	65.82
9.05	14.32	1.04	14.04	0.67	14.32	9.4	65.68
9.10	14.77	0.96	13.41	0.71	14.18	9.52	67.14
9.15	14.67	0.98	14.03	0.68	14.38	9.54	66.36
9.20	14.34	0.98	14.1	0.67	14.05	9.47	67.22
9.25	14.25	1.01	14.1	0.67	14.39	9.47	65.63
Rata-rata Efisiensi							66.3

Data hasil uji diatas menggunakan dua metode yang berbeda menunjukkan bahwa terdapat peningkatan nilai efisiensi yang dihasilkan. Pada hasil pengujian Tabel 5.9 diperoleh rata-rata efisiensi yang diperoleh sebesar 57.32%, sedangkan hasil pengujian Tabel 5.10 diperoleh rata-rata efisiensi yang diperoleh sebesar 66.30%. Peningkatan rata-rata nilai efisiensi yang diperoleh adalah sebesar 8.98%.

Gambar 5.12 menunjukkan perbandingan daya *output* dengan MPPT IC konvensional dan MPPT IC dengan kontroler PID.



Gambar 5.12. Grafik Perbandingan Daya *Output* Pengujian Pertama

Pengujian selanjutnya pada pukul 09.45 dengan memberikan gangguan penyinaran yang masuk pada panel surya dengan memberikan kertas kalkir di atas panel surya seperti yang dilihat Gambar 5.13.



Gambar 5.13. Pengujian dengan Panel Surya yang Tertutup Kertas Kalkir

Pada pengujian ini juga membandingkan nilai efisiensi yang dihasilkan antara menggunakan metode MPPT IC konvensional dengan MPPT IC menggunakan kontroler PID. Tabel 5.11 merupakan data uji MPPT IC konvensional. Pada Tabel 5.12 merupakan data uji MPPT IC dengan kontroler PID.

Tabel 5.11 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC Konvensional Pada Jam 09.45

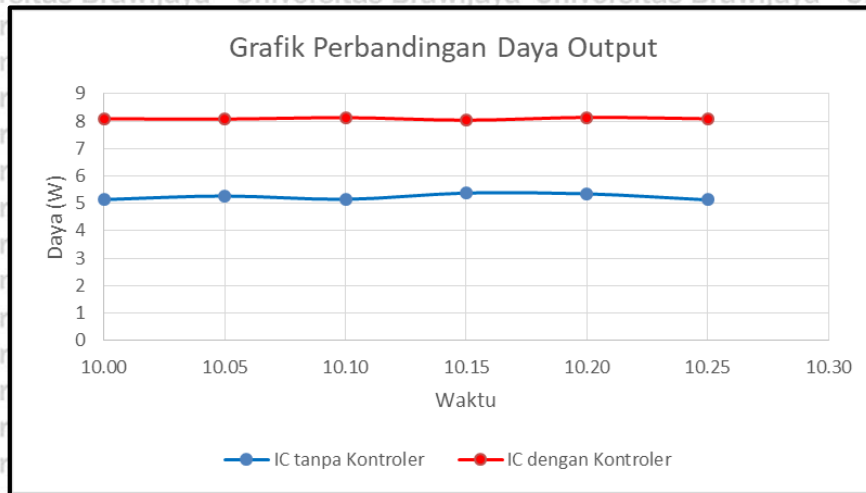
Jam	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{in} (watt)	P _{out} (watt)	η (%)
9.45	11.65	0.84	8.74	0.58	9.79	5.14	52.56
9.50	12.1	0.83	9.08	0.58	10.04	5.27	52.55
9.55	11.53	0.85	8.65	0.59	9.8	5.15	52.56
10.00	12.2	0.84	9.16	0.58	10.25	5.38	52.55
10.05	12.14	0.84	9.11	0.58	10.2	5.35	52.55
10.10	11.63	0.84	8.73	0.58	9.77	5.13	52.57
Rata-rata Efisiensi							52.55

Tabel 5.12 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC dengan kontroler PID Pada Jam 09.45

Jam	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{in} (watt)	P _{out} (watt)	η (%)
9.45	13.32	1.02	10.65	0.76	13.32	8.09	60.8
9.50	13.71	0.97	10.96	0.73	13.3	8.08	60.82
9.55	13.25	1.01	10.6	0.76	13.38	8.13	60.79
10.00	13.77	0.96	11.01	0.73	13.22	8.04	60.83
10.05	13.67	0.98	10.03	0.74	13.4	8.14	60.81
10.10	13.44	0.99	10.75	0.75	13.31	8.09	60.8
Rata-rata Efisiensi							60.8

Berdasarkan hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa terdapat peningkatan nilai efisiensi yang dihasilkan. Pada hasil pengujian Tabel 5.11 memperlihatkan bahwa rata-rata efisiensi yang dihasilkan sebesar 52.55%, sedangkan hasil pengujian Tabel 5.12 memperlihatkan rata-rata efisiensi yang dihasilkan sebesar 60.80%. Hasil peningkatan rata-rata nilai efisiensi sebesar 8.25%.

Gambar 5.14 menunjukkan perbandingan daya *output* dengan MPPT IC konvensional dan MPPT IC dengan kontroler PID.



Gambar 5.14. Grafik Perbandingan Daya Output Pengujian Kedua

Pengujian selanjutnya pada pukul 11.15. Pengujian ini juga membandingkan antara MPPT IC tanpa kontroler PID dengan MPPT IC menggunakan kontroler PID. Pada pengujian ini dilakukan tanpa menutup panel surya dengan kertas kalkir. Tabel 5.13 merupakan data uji MPPT IC konvensional. Pada Tabel 5.14 merupakan data uji MPPT IC dengan kontroler PID.

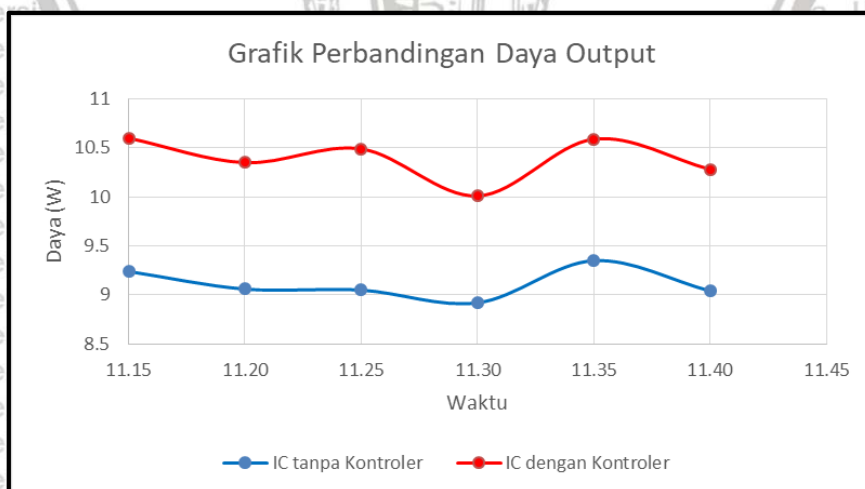
Tabel 5.13 Data Hasil Uji Sistem MPPT IC Konvensional Pada Jam 11.15

Jam	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (watt)	Pout (watt)	η (%)
11.15	15.11	1.15	11.34	0.81	17.38	9.24	53.19
11.20	14.56	1.17	10.93	0.83	17.04	9.06	53.18
11.25	14.68	1.16	11.02	0.82	17.03	9.05	53.19
11.30	14.59	1.15	10.95	0.81	16.78	8.92	53.2
11.35	15.03	1.17	11.28	0.83	17.59	9.35	53.18
11.40	14.66	1.16	11.01	0.82	17.01	9.04	53.19
Rata-rata Efisiensi							53.18

Tabel 5.14 Data Hasil Uji Sistem dengan MPPT IC dengan kontroler PID Pada Jam 11.15

Jam	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (watt)	Pout (watt)	η (%)
11.15	15.05	1.16	12.05	0.88	17.46	10.6	60.74
11.2	14.57	1.17	11.67	0.89	17.05	10.35	60.73
11.25	15.01	1.15	12.02	0.87	17.26	10.49	60.75
11.3	14.2	1.16	11.37	0.88	16.47	10.01	60.74
11.35	15.03	1.16	12.03	0.88	17.43	10.59	60.74
11.4	14.59	1.16	11.68	0.88	16.92	10.28	60.74
Rata-rata Efisiensi							60.74

Hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa terdapat peningkatan nilai efisiensi yang dihasilkan. Pada data pengujian Tabel 5.13 memperlihatkan rata-rata nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 53.18%, sedangkan hasil pengujian Tabel 5.14 memperlihatkan rata-rata dari efisiensi yang diperoleh adalah sebesar 60.74%. Hasil peningkatan nilai rata-rata efisiensi yang diperoleh 7.55%. Gambar 5.15 menunjukkan perbandingan daya *output* dengan MPPT IC konvensional dan MPPT IC dengan kontroler PID.



Gambar 5.15. Grafik Perbandingan Daya Output Pengujian Ketiga

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini memperoleh data pengujian yang telah dilakukan dan memperoleh kesimpulan bahwa MPPT *Incremental Conductance* dengan menggunakan kontroler PID dapat meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan dibandingkan dengan MPPT *Incremental Conductance* konvensional. Pada pengujian pertama, efisiensi dapat meningkat sebesar 8.98%. Pengujian kedua, nilai efisiensi daya dapat meningkat 8.25%. Pengujian ketiga, nilai efisiensi daya dapat meningkat 7.55%.

6.2 Saran

Pengembangan atau penyempurnaan penelitian ini disarankan untuk melakukan penelitian pada hal-hal yang terkait sebagai berikut:

1. Konverter DC-DC dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis konverter lain dengan efisiensi yang lebih tinggi.
2. Kontroler yang digunakan dapat menggunakan kontrol logika fuzzy.

DAFTAR PUSTAKA

- Babgei, A.F. (2012). Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) pada Panel Surya dengan Menggunakan Metode *Fuzzy*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- Bharti, M., Kumar, U. (2017). *Virtualization and Simulation of Incremental Conductance MPPT Based Two Phase Interleaved Boost Converter using Simulink in MATLAB*. International Journal for Technological Research in Engineering (IJTRE), Volume 4, Issue 9.
- Dunia, J., Mwinyiwiwa, B.M.M. (2013). *Performance Comparasion Between Cuk and SEPIC Converter for Maximum Power Point Tracking Using Incremental Conductance Technique in Solar Power Application*. IJSCSE, Vol 7, No.12.
- Dwivedi, L.K. (2017). *Improve Efficiency of Photovoltaic System based by PID Controller*. IRJET.
- Esrarn, T., Chapman, P.L. (2007). *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*. IEEE.
- Gozali, S. (2013). Perbandingan Konverter Cuk dan SEPIC untuk Pelacakan Daya Maksimum Berbasis Panel Surya. Politeknik Batam.
- Hart, D.W. (2010). *Power Electronics*. Indiana : Valparaiso University.
- Liu, X., Lopes, L.A.C. (2004). *An Improved Perturbation and Observation Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Arrays*. IEEE.
- Luque, A., Hegedus, S. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Chichester : John Wiley and Son, Ltd.
- Meliala, Selamat. (2016). Analisa Tegangan Keluaran DC Step-Up Cuk Konverter Menggunakan *Fuzzy Logic* Kontroler. Journal of Electrical Technology, Vol.1 No.1.
- Narendranath, K.V., Viswanath Y. (2009). *Solar Fed DC-DC Single Ended Primary Inductance Converter for LowPower Application*. IOP Publishing Ltd.

Nema, S., Nema, R.K., Agnihotri, G. (2010). *Matlab Simulink based Study of Photovoltaic Cells Modules Array and Their Experimental Verification*. International Journal of Energy and Environment (IJEE), Vol 1, Issue 3, pp.487-500.

Nurrohim, Agus. (2012). *Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Sebagai Solusi Kelistrikan di Daerah Terpencil*. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia Vol. 14 No.2, Agustus 2012, 96-103.

Ogata, K. (1997). *Modern Control Engineering*. Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall.

Paranthagan, B., Marimhutu, M. (2015). *Comparative Analysis of Performance of the SEPIC Converter Using PID and Fuzzy Logic Controllers for LED Lighting Applications*. International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics (IJETCSE), vol. XII, no. 2, pp. 1-9.

Ronilaya, F., Khabib A., Hidayat., M.N., Siradjudin, I., Rohadi, E., Asmara, R.A., Yudaningtyas, E. (2018). *A Double Stage Micro-Inverter for Optimal Power Flow Control in Grid Connected PV System*. ICOIACT.

Slamet, Rasli bin Abd Ghani, Kobayashi, F. (2014). *Implementation of IncCond Algorithm to Optimize PI Boost Converter for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Arrays*. UTM Press.

Soedibyo, Amri B., Ashari, M. (2015). *The Comparative Study of Buck-Boost, Cuk, SEPIC and Zeta Converters for Maximum Power Point Tracking Photovoltaic Using P&O Method*. IEEE.

Tekeshwar, P.S., Dixit, T.V. (2014). *Modelling and Analysis of Perturb & Observe and Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV Array Using Cuk Converter*. IEEE.

Tito, Beng. (2012). *Metode MPPT Baru untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali PI*. Depok: Universitas Indonesia.

Wu, Y., Li, J., Li, C. (2017). *Study of the Improved INC MPPT Algorithm for PV Systems*. IEEE.

Yi, K., Fa, Yang Lu. (2009). *The Perturbation and Observation method based on the P-V rate of curve*. IEEE.

Zekry, M.R., Sayed, M.M., Youssef, H.K.M. *Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Methods for Photovoltaic System*. Egypt : Cairo University

LAMPIRAN

Lampiran 1: Foto-foto Alat



Panel Surya Dekade 50wp



Rangkaian sensor, konverter SEPIC dan Arduino



Resistor



Konverter SEPIC terhubung Resistor



Keseluruhan Alat

LAMPIRAN

Lampiran 2 : Listing program sistem MPPT *Incremental Conductance* berbasis PID

```
int PWM1 = 0, PWM2;
#include <PWM.h>
#include <LiquidCrystal.h>
const int rs = 8, en = 7, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
#include <PID_v1.h>
boolean mode_pid = false; //mengganti mode dengan PID atau tidak
//(true=PID & false=incremental)

float teg;
float DAYA1, DAYA2;
float dv, di;
float v1, v2, i1, i2, vref;
int count_v, count_i;
double Setpoint, Input, Output;
double Kp = 0.01, Ki = 0.7, Kd = 0.1;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
float v_in, v_out;
float i_in, i_out;
float a, b, c;
float perubahan, z;
int mVperAmp = 185; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int RawValue = 0;
int ACSoffset = 2500;
double Voltage = 0;
double Amps = 0;
```

```
int mVperAmp1 = 185; //185 =5A, use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
```

```
int RawValue1 = 0;
```

```
int ACSoffset1 = 2500;
```

```
double Voltage1 = 0;
```

```
double Amps1 = 0;
```

```
int32_t frecuencia = 40000; //frequency (in Hz)
```

```
int MAP1, MAP2;
```

```
#define PIN_SEPICA 9
```

```
#define PIN_SEPICB 11
```

```
#define ACS1 A4
```

```
#define SENSITIVITY1 185 // acs712 model SENSITIVITY in mv
```

```
#define SAMPLING1 500 //set samples before averaging
```

```
#define ACS2 A1
```

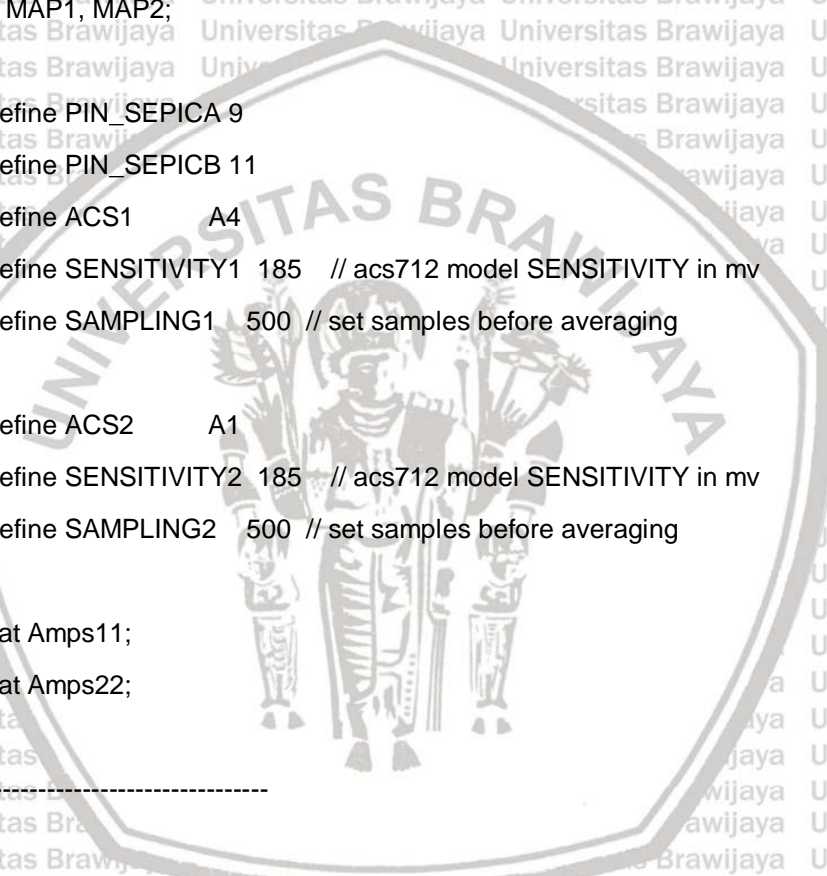
```
#define SENSITIVITY2 185 // acs712 model SENSITIVITY in mv
```

```
#define SAMPLING2 500 //set samples before averaging
```

```
float Amps11;
```

```
float Amps22;
```

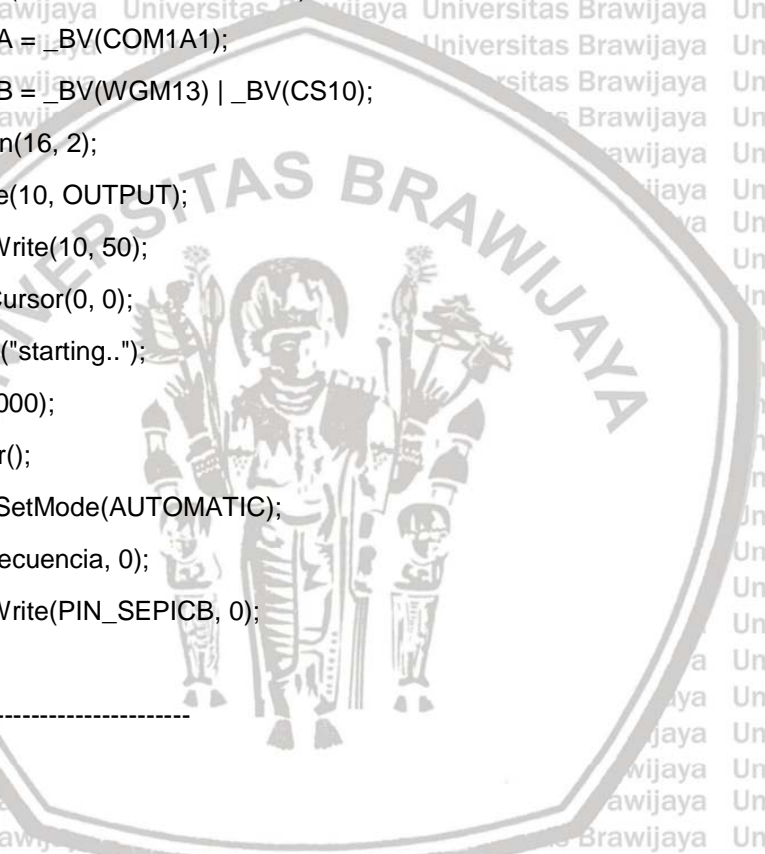
```
//-----
```



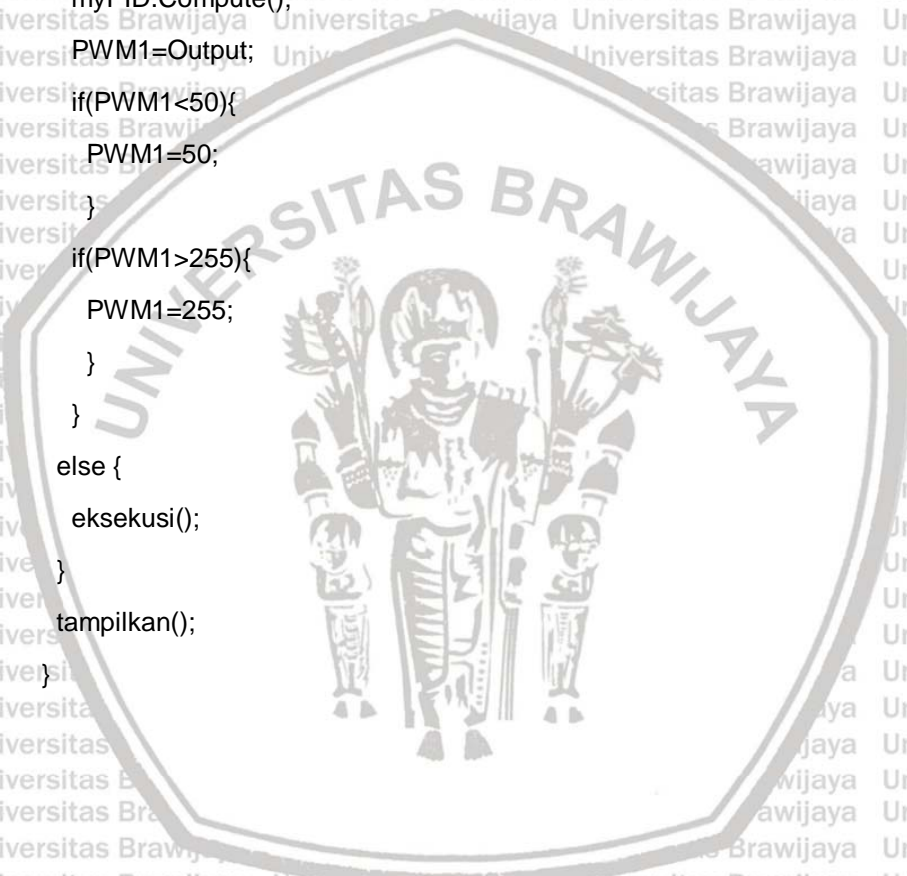
```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ACS1, INPUT);
  pinMode(ACS2, INPUT);
  pinMode(PIN_SEPICB, OUTPUT);
  pinMode(PIN_SEPICA, OUTPUT);
  TCCR1A = _BV(COM1A1);
  TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(10, OUTPUT);
  analogWrite(10, 50);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("starting..");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  PWM(frecuencia, 0);
  analogWrite(PIN_SEPICB, 0);
}
//-----

```



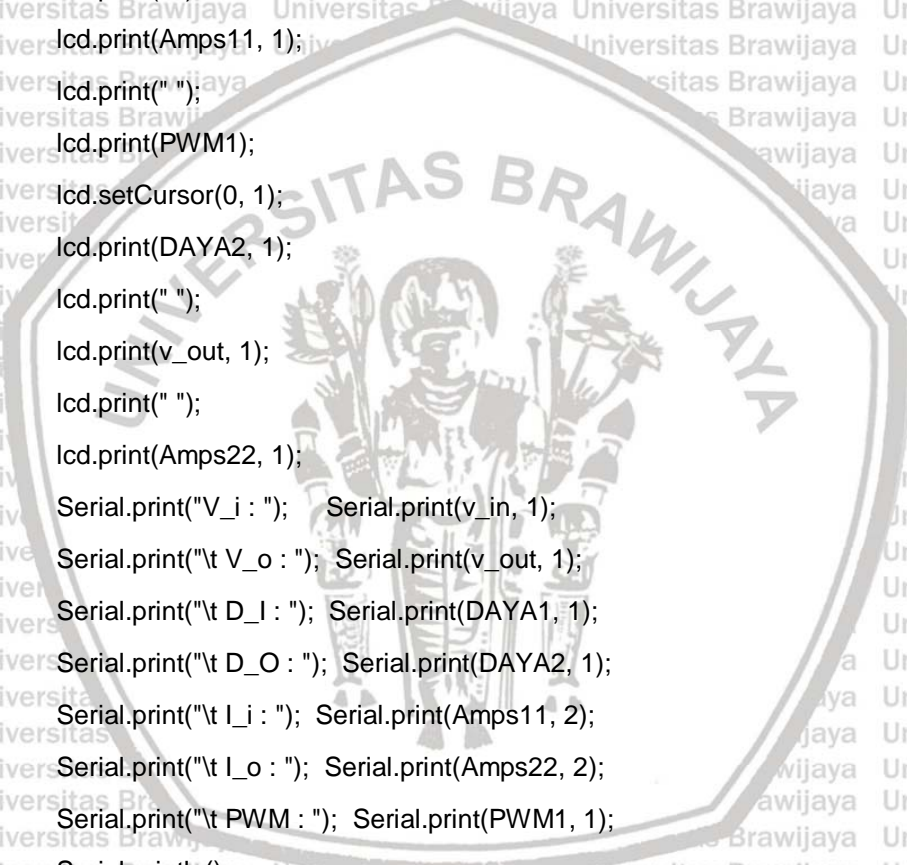
```
void loop()
{
  baca_sensor();
  if (mode_pid == true) {
    eksekusi();
    Setpoint = v1;
    Input = v2;
    myPID.Compute();
    PWM1=Output;
    if(PWM1<50){
      PWM1=50;
    }
    if(PWM1>255){
      PWM1=255;
    }
  }
  else {
    eksekusi();
  }
  tampilkan();
}
```



```

void tampilkan() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(DAYA1, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.print(v_in, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.print(Amps11, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.print(PWM1);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(DAYA2, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.print(v_out, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.print(Amps22, 1);
    Serial.print("V_i : "); Serial.print(v_in, 1);
    Serial.print("\t V_o : "); Serial.print(v_out, 1);
    Serial.print("\t D_I : "); Serial.print(DAYA1, 1);
    Serial.print("\t D_O : "); Serial.print(DAYA2, 1);
    Serial.print("\t I_i : "); Serial.print(Amps11, 2);
    Serial.print("\t I_o : "); Serial.print(Amps22, 2);
    Serial.print("\t PWM : "); Serial.print(PWM1, 1);
    Serial.println();
}

```




```
void baca_sensor() {  
    v_in = analogRead(A2) / 43.100775;  
    v_out = analogRead(A0) / 43.100775;  
    acs1();  
    acs2();  
    if (v_in <= 1.0)  
    {  
        Amps11 = 0.00;  
        Amps22 = 0.00;  
        v_out = 0.0;  
    }  
    DAYA1 = v_in * Amps11;  
    DAYA2 = v_out * Amps22;  
}
```

```
void eksekusi()
```

```
{  
    //--- dihitung dari Input  
    count_i++;  
    if (count_i == 1) {  
        i1 = Amps11;}  
    if (count_i == 2) {  
        i2 = Amps11;  
        count_i = 0; }  
    di = i2 - i1;  
    count_v++;  
    if (count_v == 1) {  
        v1 = v_in;}  
    if (count_v == 2) {  
        v2 = v_in;  
        count_v = 0;}  
    dv = v2 - v1;
```



//----- Incremental Conductance

perubahan = di/dv;

z = Amps11/v_in;

if(dv==0)

{

if(di==0)

{

PWM1=PWM1;

}

else if(di>0)

{

PWM1=PWM1+20;

}

if(PWM1>255)

{

PWM1=255;

}

}

else if(di<0)

{

PWM1=PWM1-10;

if(PWM1<100)

{

PWM1=100;

}

}

else

{

if(((perubahan+(z))<=0.1)||((perubahan+(z))>=-0.1))

{

PWM1=PWM1;

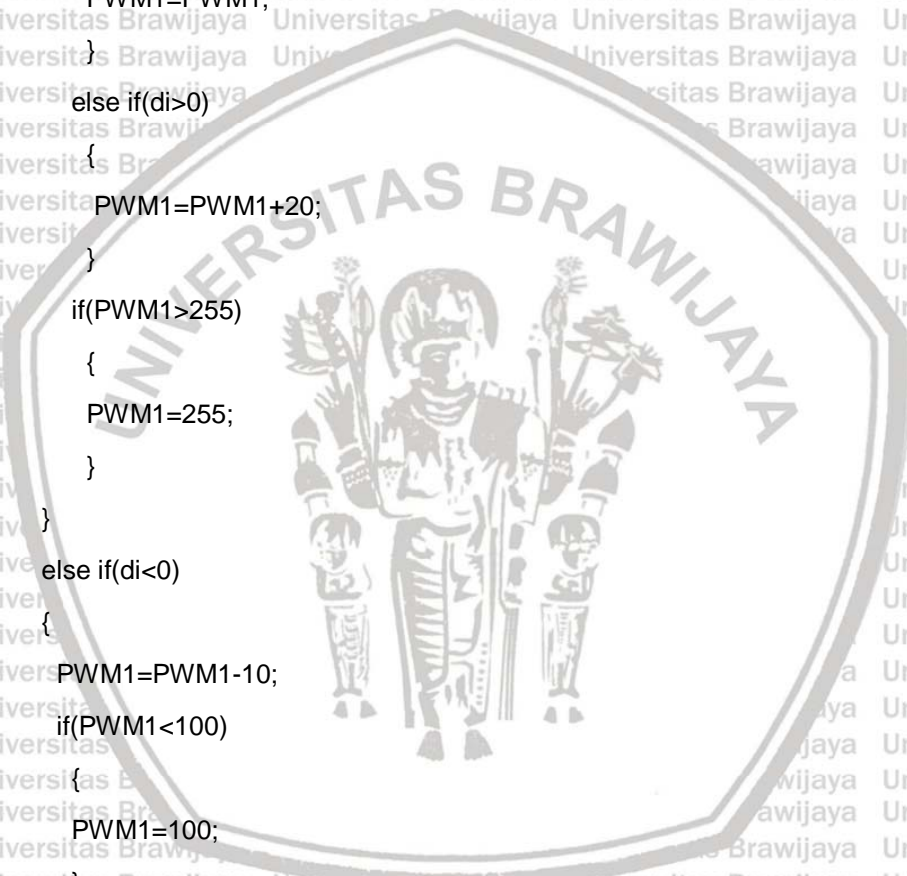
}

if((perubahan+(z))>0.1)

{

}

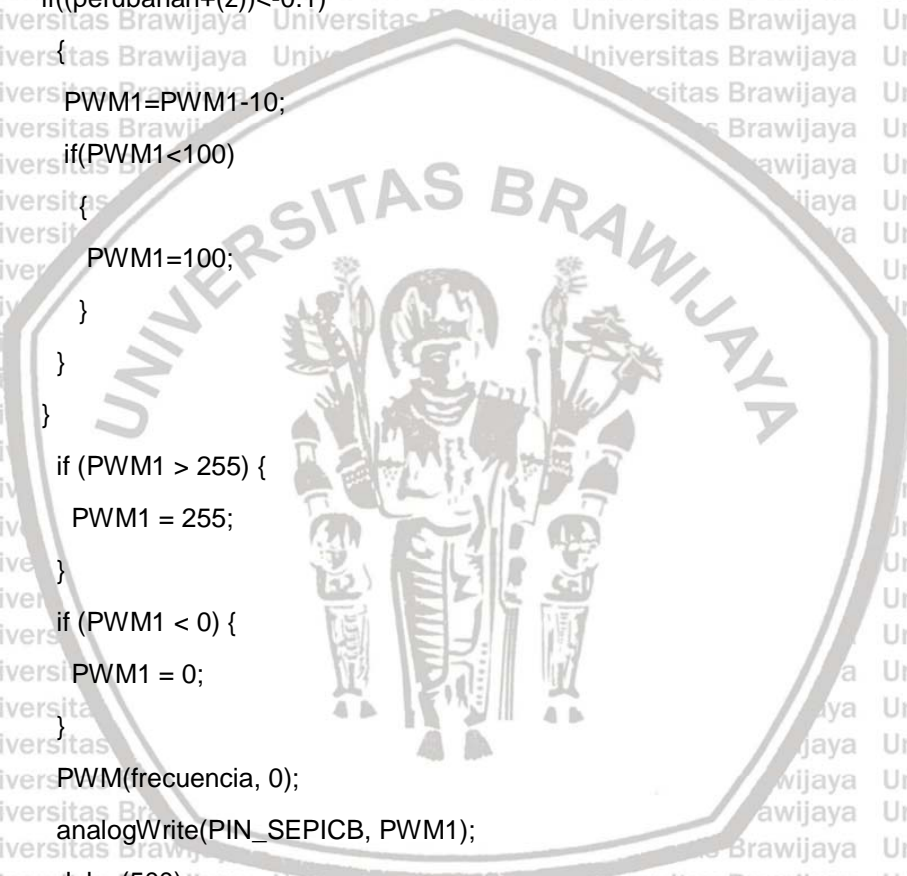
}



```

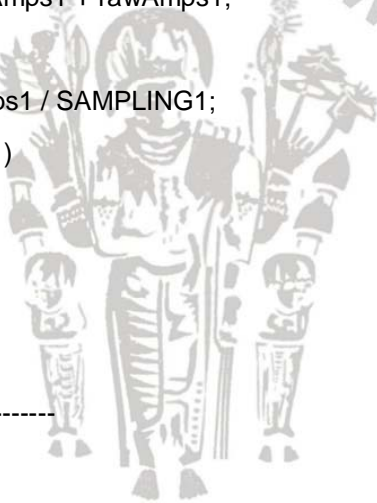
PWM1=PWM1+20;
if(PWM1>255)
{
PWM1=255;
}
if((perubahan+(z))<-0.1)
{
PWM1=PWM1-10;
if(PWM1<100)
{
PWM1=100;
}
}
if (PWM1 > 255) {
PWM1 = 255;
}
if (PWM1 < 0) {
PWM1 = 0;
}
PWM(frecuencia, 0);
analogWrite(PIN_SEPICB, PWM1);
delay(500);
}
void PWM(float frecuencia, float duty)
{
ICR1 = 16000000.0 / (2.0 * frecuencia);
OCR1A = ICR1 * (duty / 100.0);
}
//-----

```



```
void acs1()
{
    float avgAmps1;
    float rawAmps1;
    float mv1;
    int rawACS1;

    for (int i1 = 0; i1 < SAMPLING1; i1++)
    {
        rawACS1 = analogRead(ACS1);
        mv1 = rawACS1 / 1023.0 * 5000.0;
        rawAmps1 = (mv1 - 2600.0) / 470.0; // set sensor calibration here
        avgAmps1 = avgAmps1 + rawAmps1;
    }
    Amps11 = -avgAmps1 / SAMPLING1;
    if (Amps11 <= 0.01)
    {
        Amps11 = 0;
    }
}
```



```

void acs2()
{
    float avgAmps2;
    float rawAmps2;
    float mv2;
    int rawACS2;
    for (int i2 = 0; i2 < SAMPLING2; i2++)
    {
        rawACS2 = analogRead(ACS2);
        mv2 = rawACS2 / 1023.0 * 5000.0;
        //rawAmps2 = (mv2 - 2600.0) / 174.0; // set sensor calibration here
        rawAmps2 = (mv2 - 2600.0) / 470.0; // set sensor calibration here
        avgAmps2 = avgAmps2 + rawAmps2;
    }
    Amps22 = -avgAmps2 / SAMPLING2;
    if (Amps22 <= 0.01)
    {
        Amps22 = 0;
    }
}

```

