



**MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS PERTURB AND
OBSERVE – FUZZY PADA PANEL SURYA BEREKREFLEKTOR CERMIN
CEKUNG**

SKRIPSI

Oleh

Mohammad Rizqi Fantastika

NIM 151910201062

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS PERTURB AND
OBSERVE – FUZZY PADA PANEL SURYA BEREKREFLEKTOR CERMIN
CEKUNG**

SKRIPSI

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

Oleh

Mohammad Rizqi Fantastika

NIM 151910201062

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

PERSEMBAHAN

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

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

MOTTO

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

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

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

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

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

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

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mogammad Rizqi Fantastika

NIM : 151910201062

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: **“Maximum Power Point Tracking Berbasis Perturb And Observe – Fuzzy Pada Panel Surya Bereflektor Cermin Cekung”** adalah benar-benar karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Oktober 2019

Yang menyatakan,

MOHAMMAD RIZQI FANTASTIKA

151910201062

SKRIPSI

**MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS PERTURB AND
OBSERVE – FUZZY PADA PANEL SURYA BEREFLEKTOR CERMIN
CEKUNG**

Oleh

Mohammad Rizqi Fantastika

NIM 151910201062

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Maximum Power Point Tracking Berbasis Perturb And Observe – Fuzzy Pada Panel Surya Bereflektor Cermin Cekung” karya Mohammad Rizqi Fantastika telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 10 Oktober 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP 19700826199701001

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 197104022003121001

Penguji I,

Penguji II,

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

Dr. Azmi Saleh, S.T., MT.
NIP 19706141997021001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. U. M.

NIP 1966121151995032001

RINGKASAN

Maximum Power Point Tracking Berbasis Perturb And Observe – Fuzzy Pada Panel Surya Bereflektor Cermin Cekung; Moh. Rizqi Fantastika, 151910201062; 2019; 124 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Kebutuhan energi telah menjadi salah satu kebutuhan primer atau pokok pada hampir seluruh masyarakat dunia. Tren pertumbuhan dan kebutuhan energi juga semakin meningkat setiap tahunnya, berbanding lurus dengan semakin meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan populasi. Ketergantungan terhadap kebutuhan energi juga tidak dapat terlepas dari peran serta alat elektronik yang digunakan hampir pada seluruh bidang yang ada. Namun di sisi yang lain, ketersediaan bahan bakar fosil untuk pembangkitan energi semakin menurun, hal ini dikarenakan bahan yang digunakan untuk proses pembangkitan energi tersebut adalah bahan yang sifatnya terbatas dan tidak dapat diperbaharui kembali. Oleh karenanya dilakukan beberapa inovasi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, salah satunya dengan menggalakkan tren energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan dengan kapasitas energi tanpa batas. Namun permasalahan utamanya adalah proses konversi energi terbarukan tersebut ke dalam bentuk energi listrik masih sangat kurang. Pada panel surya, energi yang dapat dikonversi hanya berkisar antara 20% - 30% dari total energi yang didapat dari iradiasi matahari, sehingga perlu pengoptimalan daya agar energi yang terserap dapat dimanfaatkan dengan maksimal pula. Oleh karenanya perlu penelitian lebih lanjut mengenai optimalisasi daya pada panel surya, seperti yang dilakukan pada penelitian ini yang berjudul Maximum Power Point Tracking Berbasis Perturb And Observe – Fuzzy Pada Panel Surya Bereflektor Cermin Cekung.

Pada penelitian ini dilakukan dua perlakuan untuk optimalisasi dan pencarian daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh Panel Surya berkapasitas 50 WP. Dua perlakuan optimalisasi daya tersebut yaitu terdiri dari optimalisasi dinamis dan optimalisasi statis. Pada penelitian ini, optimalisasi daya dinamis

dilakukan dengan penambahan scanning reflektor berupa cermin cekung. Proses penambahan reflektor pada ke-empat sisi panel surya ini dilakukan untuk menambahkan nilai iradiasi yang menimpa panel karena sinar matahari yang menimpa panel surya tidak selalu tegak lurus dengan panel. Proses *scanning* dilakukan setiap 30 menit untuk mengatur sudut reflektor cermin cekung yang dapat mengikuti sudut datang sinar matahari, sehingga dengan pengaturan ini cahaya matahari yang datang dapat dipantulkan oleh reflektor ke permukaan panel surya. Variabel yang menjadi acuan dasar untuk proses scanning reflektor ini yaitu besar sudut dan jumlah intensitas cahaya matahari, pergerakan sudut dilakukan dengan perhitungan dan perbandingan terhadap sudut referensi sinar datang matahari. Hasil dari pengoptimalan scanning reflektor ini ditunjukkan dengan rata – rata nilai iradiasi saat menggunakan reflektor sebesar 701,38 W/m², dan pada saat tidak menggunakan reflektor sebesar 684,54 W/m². Perbedaan nilai iradiasi ini juga berpengaruh pada daya output yang dihasilkan, rata – rata daya output pada saat menggunakan reflektor cermin cekung sebesar 31,58 Watt, pada saat tanpa menggunakan reflektor daya output yang dihasilkan sebesar 26,98 Watt.

Optimalisasi daya statis pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan konsep *Maximum Power Point Tracking*. Perancangan MPPT ini terdiri dari *boost converter* sebagai pengatur untuk menaikkan nilai tegangan yang diberikan pada beban Rmp. Pengaturan ini dilakukan dengan memberikan sinyal pulsa PWM pada *driver boost converter*. Perancangan *boost converter* terdiri atas Induktor, Mosfet, Dioda, Kapasitor, dan beban Rmp. Definisi MPPT yaitu sebuah metode untuk mencari titik nilai daya maksimal yang dapat dihasilkan panel surya dengan berbagai perubahan nilai iradiasi. Analisis daya maksimal tersebut dilakukan dengan menggunakan algoritma Perturb and Observe. Analisis algoritma ini berdasar grafik karakteristik Daya – Tegangan (P-V) dengan berbagai macam nilai iradiasi. Pada grafik tersebut terdapat titik puncak yang disebut MPP (*Maximum Power Point*), titik inilah yang menjadi titik acuan untuk mencapai daya maksimal. Ketentuan untuk mencapai titik tersebut adalah saat nilai error (e) = 0, nilai error dapat dicari dengan ketentuan Perubahan Daya (ΔP) dibagi dengan Perubahan Tegangan (ΔV).

Hasil dari analisis algoritma *Perturb and Observe* yang berupa nilai error tersebut selanjutnya akan diproses lagi dengan perubahan nilai error pembacaan saat ini dengan pembacaan error sebelumnya, perubahan ini disebut dengan ΔE . Kemudian nilai E dan ΔE tersebut akan menjadi input untuk logika fuzzy dalam melakukan proses kontrol untuk penentuan nilai *duty cycle* sebagai *trigger* untuk mengatur nilai *PWM* pada *boost converter*. Kriteria yang harus dipenuhi untuk mencapai daya maksimal yaitu $e = 0$, namun pada saat terjadi $e > 0$ maka untuk mencapai nilai *MPP* nilai *duty cycle* harus dikurangi sehingga nilai *error* bisa sama dengan 0. Begitu sebaliknya saat nilai $e < 0$, untuk mencapai nilai *MPP* nilai *duty cycle* harus ditambahkan sehingga nilai error bernilai sama dengan 0.

Hasil pengujian keseluruhan sistem MPPT dengan scanning reflektor cermin cekung ini ditunjukkan pada nilai daya yang dihasilkan. Perbandingan untuk pengujian sistem ini, juga dilakukan sebuah pembebanan langsung terhadap keluaran panel surya (*direct couple*) dengan nilai beban yang sama yaitu beban R_{mp} sebesar 6 Ohm. Nilai P_{max} yang dihasilkan pada sistem ini juga dibandingkan dengan nilai P_{max} pada perhitungan teori. Pada data yang dihasilkan saat nilai iradiasi sebesar 917 W/m^2 , nilai P_{max} teori sebesar 45,85 Watt, nilai MPPT yaitu $P_{pv}(P\&O\text{-Fuzzy})$ sebesar 41,47 Watt, nilai pada saat pembebanan langsung sebesar 37,47 Watt. Dari hasil tersebut dapat diketahui bagaimana sistem MPPT dan scanning reflektor ini bekerja. Terjadinya perbedaan nilai yang didapat antara perhitungan dan aplikasi pada alat disebabkan karena rugi – rugi daya yang tidak tersalurkan secara penuh pada komponen yang digunakan. Terjadinya rugi – rugi ini biasanya dalam bentuk panas pada komponen seperti pada mosfet, dioda, dan kapasitor. Rata – rata efisiensi yang diperoleh pada penggunaan Sistem MPPT ini sebesar 88,66%, nilai ini jauh berbeda dari aplikasi pada saat tanpa kontrol MPPT (*direct coupled*) yaitu sebesar 82,25%.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Maximum Power Point Tracking Berbasis Perturb And Observe – Fuzzy Pada Panel Surya Bereflektor Cermin Cekung”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menuntaskan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas kemurahan-Nya saya dapat menuntaskan skripsi ini.
2. Nabi Muhammad SAW, Nabi junjungan umat Islam yang telah menarik kami dari zaman jahiliyah ke zaman yang lebih baik.
3. Kedua orang tua saya, bapak Bahrudin dan ibu Fatmawati yang telah membantu baik moral atau materil serta doa yang tidak pernah putus. Untuk My Brother Mohammad Affan Ghaffar
4. Sahabat – sahabat RIGO (Rafi, Okik, Rifki, Rio Randi) dan yang lainnya seperti Tukimin atau apalah namanya.
5. Dosen pembimbing utama bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. serta bapak Prof. Dr Ir. Bambang Sujanarko, M.M. Dosen penguji bapak H.R.B. Moch Gozali, S.T., M.T. dan bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., MT. yang selalu memberikan arahan dalam penelitian ini.
6. Bapak Andi Setiaawan, S.T., M.T. yang meskipun bukan dosen pembimbing tapi selalu memberikan bimbingannya, tak hanya membimbing secara akademis, tapi beliau membimbing secara moril dengan pengalaman beliau yang sangat luar biasa.
7. Saudara dan saudariku di Mahadipa yang telah menghiburku dengan berbagai macam jenis lelucon aneh dan persaudaraan seperti sebuah keluarga.
8. Keluarga Besar Asisten Laboratorium Sistem Kendali, Laboratorium Sistem Tenaga, dan Laboratorium Sistem Kendali.

9. Keluarga Teknik Elektro 2015 “D15TORSI” yang sudah menemani saya berproses selama menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Jember.
10. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa.
11. Keluarga besar Ristek (Kerohanian Islam Teknik) yang telah memberikan banyak pengetahuan tentang Akhlaq, Aqidah, dan Muamalah sebagai seorang Muslim
12. Keluarga besar Badan Perwakilan Mahasiswa (BPM) yang telah mengajari bagaimana gambaran menjadi seorang elit dengan membuat sebuah perundang – undangan antar UKM/Ormaawa di Fakultas Teknik, mengajari bagaimana menjadi lembaga yang menampung aspirasi dan lain-lain.
13. Keluarga besar seluruh MAPALA se Eks Keresidenan Besuki, Seluruh Indonesia, dan di seluruh dunia.
14. Guru-guru yang telah membimbing saya mulai dari taman kanak-kanak sampai sekolah menengah.

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

Jember, 10 Oktober 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMBUNG	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Panel Surya	5
2.1.1 Persamaan Karakteristik Sel Surya.....	6
2.1.2 Faktor Pengoperasian Maksimum Sel Surya	8
2.1.3 Prinsip Kerja Sel Surya	13

2.2 MPPT	14
2.3 <i>Boost Converter</i>	16
2.3.1 Prinsip Kerja <i>Boost Converter</i>	17
2.3.2 Parameter perancangan <i>Boost Converter</i>	19
2.4 Logika <i>Fuzzy</i>	21
2.4.1 Struktur Dasar Logika <i>Fuzzy</i>	22
2.5 Sensor Tegangan.....	25
2.6 Sensor Arus.....	26
2.7 Sensor Intensitas Cahaya BH1750.....	28
2.8 Mikrokontroler.....	29
2.8.1 Arduino	29
2.8.2 Hardware Arduino	30
2.9 Bumi Terhadap Matahari.....	31
2.9.1 Konstanta Surya.....	31
2.9.2 Pengaruh Posisi Relatif Matahari Terhadap Bumi	32
2.9.3 Menentukan Sudut Datang Radiasi Matahari Ke Reflektor	33
2.9.4 Menentukan Radiasi Pantulan dari Reflektor	35
2.10 Cermin Cekung.....	36
BAB 3. METODE PENELITIAN	39
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	39
3.2 Tahap Penelitian	39
3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian.....	41
3.4 Konsep Pemikiran Penelitian.....	41
3.5 Alat dan Bahan	42
3.6 Perancangan Sistem Kerja Penelitian.....	44
3.6.1 Diagram Blok Sistem Pengujian.....	44
3.6.2 Flowchart	45
3.7 Desain Alat	48

3.8 Desain Sistem Kontrol <i>MPPT</i>	49
3.8.1 Analisis Perhitungan Komponen Boost Konverter.....	49
3.8.2 Desain Perancangan Boost Konverter	52
3.8.3 Perancangan <i>Fuzzy Logic Control</i>	54
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	65
4.1 Pengujian Karakteristik Panel Surya 50 WP	66
4.2 Pengujian Sensor Tegangan.....	71
4.2.1 Pengujian Sensor Tegangan <i>Input Boost Converter</i>	72
4.2.2 Pengujian Sensor Tegangan <i>Output Boost Converter</i>	75
4.3 Pengujian Sensor Arus.....	79
4.4 Pengujian Sensor Intensitas Cahaya	81
4.5 Pengujian PWM (Pulse Width Modulation).....	83
4.6 Pengujian <i>Boost Converter</i>	86
4.6.1 Pengujian <i>Duty cycle Boost Converter</i>	87
4.6.2 Pengujian Efisiensi <i>Boost Converter</i>	91
4.7 Pengujian <i>Boost Converter</i> dengan beban Tanpa kontrol (<i>Open Loop</i>).....	92
4.7.1 <i>Boost Converter dengan Pemberian Variasi Beban Resitif</i>	92
4.8 Analisa Perhitungan Kontrol P&O - <i>Fuzzy Logic</i> sistem <i>MPPT</i>	95
4.9 Pengujian <i>Boost Converter</i> dengan kontrol <i>Fuzzy Logic</i>	104
4.9.1 Pengujian <i>Boost Converter</i> Tanpa Beban.....	104
4.9.2 Pengujian <i>Boost Converter</i> dengan Variasi Beban Resitif	105
4.10 Perhitungan Iradiansi Masukan Karena Penambahan Reflektor	109
4.10.1 Menentukan Sudut Datang Iradiansi Matahari Reflektor	109
4.10.2 Analisa Iradiansi Pantulan Reflektor	112
4.10.3 Iradiansi Panel Surya Akibat Penambahan Reflektor.....	114
4.11 Analisa Hasil Pengambilan Data	117
4.11.1 Analisa Data <i>Scanning</i> Reflektor Cermin Cekung	117

4.11.2 Hasil Perbandingan Penggunaan Reflektor Statis dan <i>Scanning</i> Reflektor.....	121
4.11.3 Hasil Perbandingan Penggunaan dan tanpa <i>Scanning</i> Reflektor.....	124
4.11.4 Hasil perbandingan data <i>scanning</i> reflektor penelitian ini dan <i>scanning</i> reflektor penelitian sebelumnya (Purwadiharja, 2014).....	128
4.12 Pengujian Total Sistem.....	130
4.12.1 Pengujian Sistem Tanpa <i>MPPT</i> (Direct-Coupled)	130
4.12.2 Pengujian Sistem <i>MPPT</i> Algoritma P&O- <i>Fuzzy</i>	131
4.12.3 Perbandingan dan Efisiensi Sistem <i>MPPT</i>	138
BAB 5.PENUTUP	141
5.1 Kesimpulan	141
5.2 Saran	142
DAFTAR PUSTAKA	143
LAMPIRAN	145

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik utama metode – metode <i>MPPT</i>	16
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	41
Tabel 3.2 Data spesifikasi panel surya GH-50p-18	49
Tabel 3.3 Parameter <i>DC – DC Boost Converter</i>	50
Tabel 3.4 Algoritma <i>MPPT Perturb and Observe</i>	60
Tabel 3.5 Rule Base pada <i>Fuzzy Logic</i>	63
Tabel 4.1 Pengujian Karakteristik Panel Surya 50 WP	67
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Tegangan <i>Input Boost Converter</i>	72
Tabel 4.3 Kalibrasi sensor tegangan <i>Input Boost Converter</i>	74
Tabel 4.4 Pengujian Sensor Tegangan <i>Output</i>	76
Tabel 4.5 Kalibrasi sensor tegangan <i>Output Boost Converter</i>	77
Tabel 4.6 Data hasil Pengujian sensor arus ACS712 30 A	80
Tabel 4.7 Data hasil Pengujian sensor Intensitas Cahaya BH1750	82
Tabel 4.8 Pengujian Gelombang PWM (Pulse Width Moulation)	84
Tabel 4.9 Spesifikasi Komponen <i>Boost Converter</i>	87
Tabel 4.10 Hasil Pengujian <i>Duty cycle Boost Converter</i>	89
Tabel 4.11 Efisiensi pada <i>Boost Converter</i> dengan Rmp sebesar 6 Ω	91
Tabel 4.12 Pengujian Pemberian Beban <i>Boost Converter</i> Tanpa Kontrol	93
Tabel 4.13 <i>Rule Base</i> pada <i>Fuzzy Logic</i>	98
Tabel 4.14 <i>Scalling and Mapping Fuzzy – PWM Arduino</i>	103
Tabel 4.15 Pengujian <i>Boost Converter</i> Kontrol <i>Fuzzy</i> dg Beban Resistif	106
Tabel 4.16 Data hasil pengujian sudut matahari yg diterima Reflektor	111
Tabel 4.17 Data hasil Perbandingan Iradiansi	112
Tabel 4.18 Hasil perhitungan komponen Iradiansi masukan sistem	116
Tabel 4.19 Sudut Referensi pada setiap pengambilan data	117
Tabel 4.20 Data <i>Scanning</i> Reflektor Pukul 10.00 WIB	118

Tabel 4.21 Data Hasil <i>Scanning</i> Reflektor Sudut dan Intensitas Cahaya	119
Tabel 4.22 Pengujian Data Panel Surya dengan Reflektor Statis dan <i>Scanning</i> Reflektor Cermin Cekung.	122
Tabel 4.23 Pengujian Panel dengan dan tanpa Reflektor Cermin Cekung	125
Tabel 4.24 Perbandingan Data Panel Surya Reflektor Cermin Cekung	128
Tabel 4.25 Pengujian Data Panel Surya tanpa <i>MPPT</i>	131
Tabel 4.26 Pengujian Panel Surya dengan <i>MPPT</i> algoritma P&O- <i>Fuzzy</i>	132
Tabel 4.27 Analisis Algoritma <i>Perturb and Obsserve (P&O)</i>	135
Tabel 4.28 Perhitungan P&O dan Pergeseran <i>Fuzzy</i> pada mikrokontroler untuk konversi nilai <i>Output</i>	135
Tabel 4.29 Scalling and Mapping <i>Fuzzy</i> – PWM Arduino	136
Tabel 4.30 Perbandingan Data Panel Surya dengan dan tanpa <i>MPPT</i>	138

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sel surya (<i>Photovoltaic</i>).....	5
Gambar 2.2 Karakteristik Grafik Kurva Arus terhadap Tegangan I-V.....	6
Gambar 2.3 Karakteristik Grafik Kurva Daya terhadap Tegangan P-V	7
Gambar 2.4 Efek temperatur pada photovoltaic dalam karakteristik I-V	9
Gambar 2.5 Efek temperatur pada photovoltaic dalam karakteristik P-V	9
Gambar 2.6 Efek <i>Irradiance</i> pada photovoltaic karakteristik Grafik I-V	10
Gambar 2.7 Efek <i>Irradiance</i> pada photovoltaic karakteristik Grafik P – V	11
Gambar 2.8 Orientasi panel terhadap sudut matahari	12
Gambar 2.9 Orientasi <i>array</i> pada panel surya	12
Gambar 2.10 Skema efek <i>photovoltaic</i>	13
Gambar 2.11 Perubahan titik kerja PV akibat perubahan beban	15
Gambar 2.12 Rangkaian Konverter <i>DC-DC Boost</i>	17
Gambar 2.13 a) Skema (b) gelombang keluaran <i>Boost Converter</i>	18
Gambar 2.14 MOSFET <i>Boost Converter ON</i>	18
Gambar 2.15 MOSFET <i>Boost Converter OFF</i>	20
Gambar 2.16 Struktur dasar logika <i>Fuzzy</i>	22
Gambar 2.17 <i>Fuzzification</i>	23
Gambar 2.18 <i>DeFuzzyfication</i>	25
Gambar 2.19 Sensor tegangan.....	26
Gambar 2.20 Bentuk tegangan DC dan AC.....	26
Gambar 2.21 Sensor Arus ACS712 30A.....	27
Gambar 2.22 Karakteristik Sensor Arus ACS712 30A.....	27
Gambar 2.23 Sensor Intensitas Cahaya BH-1750.....	28
Gambar 2.24 <i>Hardware</i> Arduino Uno	30
Gambar 2.25 <i>Timing</i> waktu setiap 15°	31
Gambar 2.26 Hubungan geometris bumi-matahari.....	32
Gambar 2.27 Beberapa sudut penting dalam energi surya	32

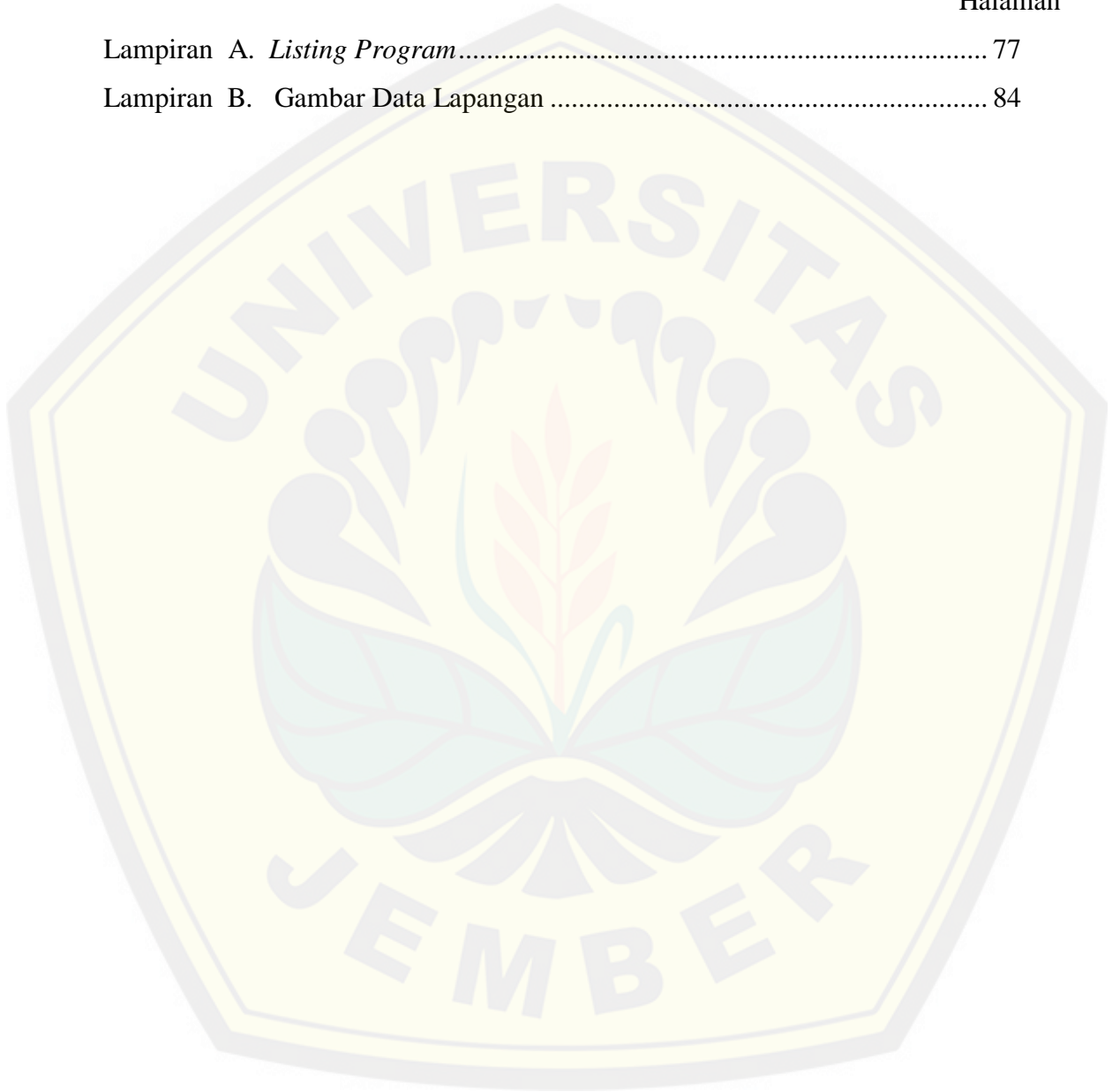
Gambar 2.28 Pantulan cermin cekung	36
Gambar 2.29 Pantulan cermin cekung sinar datang sejajar sumbu utama	37
Gambar 2.30 Pantulan cermin cekung sinar datang melalui titik fokus.	37
Gambar 2.31 Pantulan cermin cekung ketika sinar datang melalui titik pusat kelengkungan	38
Gambar 2.32 Pantulan cermin cekung sinar datang dari arah sembarang	38
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	40
Gambar 3.2 Blok diagram Konfigurasi dan implementasi <i>MPPT</i>	44
Gambar 3.3 Flowchart Sistem <i>MPPT</i> berbasis P&O- <i>Fuzzy</i>	46
Gambar 3.4 Flowchart sistem <i>Scanning Reflektor Cermin Cekung</i>	47
Gambar 3.5 Desain Modul Panel Surya dan Penempatan Cermin cekung.....	48
Gambar 3.6 Desain Reflektor Cermin Cekung.....	48
Gambar 3.7 Skema rangkaian DC – DC <i>boost converter</i>	50
Gambar 3.8 Perancangan rangkaian DC – DC <i>boost converter</i> di <i>Eagle</i>	52
Gambar 3.9 Skema rangkaian DC – DC <i>boost converter</i> di <i>Eagle</i>	53
Gambar 3.10 Skema rangkaian sensor, LCD, RTC, data <i>logger</i> pada Mikrokontroler Arduino di <i>Eagle</i>	53
Gambar 3.11 Grafik P–V dengan berbagai variasi iradiasi (ΔG) = 200 W/m ² ...	55
Gambar 3.12 Grafik I–V dengan berbagai variasi iradiasi (ΔG) = 200 W/m ²	56
Gambar 3.13 Blok diagram <i>Fuzzy Logic Control (FLC)</i>	57
Gambar 3.14 Daerah kerja <i>MPPT</i>	58
Gambar 3.15 <i>Membership function Error (E)</i>	61
Gambar 3.16 <i>Membership function Delta Error (ΔE)</i>	61
Gambar 3.17 <i>Membership function Duty cycle (D)</i>	62
Gambar 4.1 Hubungan Waktu Terhadap Daya <i>Output</i>	70
Gambar 4.2 Hubungan Daya Terhadap Intensitas Cahaya	71
Gambar 4.3 Pengujian Sensor Tegangan <i>Input Boost Converter</i>	73
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan nilai tegangan pada AVO meter dengan sensor tegangan <i>Input Boost Converter</i>	74

Gambar 4.5	Sensor Tegangan <i>Input Boost Converter</i>	75
Gambar 4.6	Pengujian Sensor Tegangan <i>Output Boost Converter</i>	77
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan nilai tegangan pada AVO meter dengan sensor tegangan <i>Output Boost Converter</i>	78
Gambar 4.8	Sensor Tegangan <i>Output Boost Converter</i>	79
Gambar 4.9	Kalibrasi sensor arus ACS712 30 A dan AVOMeter	81
Gambar 4.10	Sensor arus ACS712 pada rangkaian	81
Gambar 4.11	Kalibrasi sensor Intensitas Cahaya dan LightMeter	83
Gambar 4.12	Perancangan <i>Boost Converter</i>	88
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan <i>Duty cycle</i> terhadap Tegangan Keluaran (V_{out}) <i>Boost Converter</i>	90
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Daya <i>Input</i> dan <i>Output Boost Converter</i> ...	92
Gambar 4.15	Hasil Perhitungan derajat keanggotan pada <i>Input Error</i>	97
Gambar 4.16	Hasil Perhitungan derajat keanggotan pada <i>Input ΔE</i>	97
Gambar 4.17	Daerah Implikasi pada <i>Output Duty Cycle</i>	100
Gambar 4.18	Hasil deFuzzyfikasi <i>Output</i> pada Matlab DG metode Centroid....	102
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Tegangan <i>Input</i> dan Tegangan <i>Output</i> dengan <i>Open Loop</i> dan Kontrol <i>Fuzzy</i> tanpa beban.....	105
Gambar 4.20	Grafik Pengujian Pemberian Beban 6Ω	107
Gambar 4.21	Grafik Pengujian Pemberian Beban 7Ω	108
Gambar 4.22	Grafik Pengujian Pemberian Beban 12Ω	109
Gambar 4.23	Grafik Hasil Pengujian Iradiansi dengan dan tanpa menggunakan reflektor cermin cekung	113
Gambar 4.24	Grafik Hubungan Sudut Reflektor terhadap Intensitas Cahaya Matahari pada saat <i>Scanning</i> pukul 10.00 WIB dengan $\Theta_r = 55^\circ$	119
Gambar 4.25	Grafik Hubungan Sudut Reflektor terhadap Intensitas Cahaya Matahari pada saat <i>Scanning</i> Reflektor	120
Gambar 4.26	Perbandingan nilai daya <i>Output</i> reflektor	123

Gambar 4.27 Perbandingan nilai efisiensi	124
Gambar 4.28 Perbandingan nilai daya <i>Output</i>	126
Gambar 4.29 Perbandingan nilai efisiensi	127
Gambar 4.30 Perbandingan nilai Daya <i>Input</i>	129
Gambar 4.31 Perbandingan nilai Daya <i>Output</i>	130
Gambar 4.32 Perbandingan nilai Daya <i>Input</i> dan <i>Output</i> terhadap <i>duty cycle</i> pada kontrol <i>MPPT</i>	133
Gambar 4.33 Perbandingan nilai Daya <i>Input</i> dan <i>Output</i> terhadap nilai Iradiansi pada panel surya	134
Gambar 4.34 Perbandingan Efisiensi Daya <i>MPPT</i>	139
Gambar 4.35 Perbandingan daya P_{max} , $P_{(dc)}$, dan P (<i>P&O-Fuzzy</i>)	140

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. <i>Listing Program</i>	77
Lampiran B. Gambar Data Lapangan	84



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang Masalah

Kebutuhan energi telah menjadi salah satu kebutuhan primer atau pokok pada hampir seluruh masyarakat dunia. Tren pertumbuhan dan kebutuhan energi juga semakin meningkat setiap tahunnya, berbanding lurus dengan semakin meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan populasi. Ketergantungan terhadap kebutuhan energi juga tidak dapat terlepas dari peran serta alat elektronik yang digunakan hampir pada seluruh bidang yang ada. Semakin banyaknya peralatan elektronik yang digunakan, maka kebutuhan untuk menunjang fungsi pemakaian alat elektronik juga semakin meningkat, yang dalam hal ini adalah kebutuhan energi untuk mensuplai daya pada alat elektronik tersebut sehingga dapat digunakan. Namun di sisi yang lain, ketersediaan bahan bakar fosil untuk pembangkitan energi semakin menurun, hal ini dikarenakan bahan yang digunakan untuk proses pembangkitan energi tersebut adalah bahan yang sifatnya terbatas dan tidak dapat diperbaharui kembali. Berdasarkan informasi yang disampaikan oleh Kementerian Energi Sumber Daya Mineral Indonesia, cadangan batu bara Indonesia diperkirakan habis kira – kira dalam 83 tahun mendatang apabila tingkat produksi saat ini diteruskan (Indonesia Investments 2018).

Dari permasalahan tersebut, bermunculan upaya - upaya untuk mencari sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil. Sumber energi terbarukan (*Renewble Energy*) adalah salah satu cara yang dapat direalisasikan dalam mengatasi kebutuhan energi manusia yang semakin meningkat. Terdapat beberapa sumber energi terbarukan, salah satunya energi alternatif yang hampir mencakup kriteria aman bagi lingkungan adalah energi matahari. Matahari adalah sumber energi yang tidak terbatas dan memancarkan sekitar $3,86 \times 10^{26}$ Joule energi setiap detik.

Photovoltaic adalah suatu komponen dengan bahan semikonduktor yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Dalam penggunaannya *photovoltaic* dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan temperatur pada permukaan *photovoltaic* . Posisi matahari yang berubah-ubah

setiap saat mempengaruhi intensitas yang diterima oleh *photovoltaic* sehingga membuat daya keluaran fluktuatif. Ketika *photovoltaic* mendapat masukan berupa intensitas cahaya matahari dan temperatur akan dapat menghasilkan arus. Besar arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* berbanding lurus dengan besar intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam panel surya. Selain itu, penggunaan Reflektor akan mempengaruhi radiasi dan suhu pada permukaan panel, sehingga kenaikan suhu diikuti dengan kenaikan arus (Muchammad* dan Eflita Yohana, 2010). Penggunaan teknologi *scanning* reflektor cermin cekung pada panel surya menyebabkan adanya peningkatan arus dan daya dibandingkan dengan Penggunaan teknologi *scanning* reflektor cermin datar (Purwadiharja, 2018, p.65). Namun disisi yang lain, kenaikan dari temperatur pada permukaan panel surya juga dapat menurunkan besar tegangan yang dihasilkan panel (Denny Suryana dan M. Marhendra Ali, 2016). Untuk mengatasi penurunan dari tegangan yang dihasilkan, diperlukan sebuah rangkaian untuk menaikkan tegangan yaitu *boost* konverter. Sehingga dari kenaikan antara arus dan tegangan ini akan diperoleh daya yang maksimal dari keluaran panel surya.

Pada *Photovoltaic* mempunyai kurva karakteristik V-I, dimana di dalam kurva karakteristik tersebut terdapat titik istimewa yang biasa disebut titik MPP (*Maximum Power Point*). Pada titik tersebut *photovoltaic* berada pada keadaan optimal, baik dari tegangan dan arus yang dihasilkan. Titik MPP ini letaknya tidak diketahui, namun dapat dicari dengan algoritma penjejak yang biasa disebut algoritma MPPT. Algoritma MPPT bekerja untuk mencari titik optimum dari *photovoltaic* dan berusaha mempertahankannya pada keadaan optimum. Pada penelitiannya Iskandar Fauzi, M (2014), Maximum power point tracking (MPPT) dengan *fuzzy* dan rangkaian *boost converter* dapat memaksa daya keluaran panel solar sel mendekati nilai maksimum pada berbagai irradiansi (p.79). Dalam tugas akhir ini akan digunakan metode kontrol logika *fuzzy* untuk menelusuri daya maksimum yang mampu dihasilkan oleh panel *photovoltaic*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka timbul beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana sistem perancangan *boost converter* yang diimplementasikan untuk *Maximum Power Point Tracking* pada panel surya bereflektor cermin cekung.
2. Bagaimana penerapan dan pengaruh Logika *Fuzzy* untuk menghasilkan *Maximum Power Point Tracking* Pada Panel Surya bereflektor cermin cekung.
3. Bagaimana perbandingan dari daya yang dihasilkan panel surya bereflektor cermin cekung ketika tanpa dan dengan menggunakan *Maximum Power Point Tracking* berbasis logika *fuzzy*.

1.3. Batasan Masalah

Pada proses studi kasus dan penelitian tentu terdapat masalah yang akan terjadi, agar tidak timbul pembahasan masalah yang terlalu meluas, maka diperlukan pembatasan masalah yaitu :

1. Penelitian hanya fokus pada panel surya tipe *monocrystalline*, dan tidak membahas jenis dan karakteristik pada produk panel surya secara rinci, hanya menganalisis keluaran arus, tegangan, dan daya yang dapat dihasilkan.
2. Tidak membahas semua metode dan algoritma yang digunakan untuk mencari *Maximum Power Point Tracking*, tetapi hanya pada metode Logika *Fuzzy*.
3. Jenis DC/DC *converter* yang dibahas hanya *boost converter*.
4. Pangujian dilakukan untuk membandingkan data hasil keluaran tegangan, arus, dan daya pada panel surya bereflektor cermin cekung dengan dan tanpa menggunakan *Maximum Power Point Tracking* berbasis logika *fuzzy*.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat merancang rangkaian *Maximum Power Point Tracking* yang didalamnya terdapat DC/DC *boost converter* dan mengimplementasikannya pada panel surya bereflektor cermin cekung.

2. Dapat membuat persamaan Algoritma pada logika *Fuzzy* untuk diimplementasikan pada sistem panel surya bereflektor cermin cekung.
3. Mengetahui pengaruh *Maximum Power Point Tracking* berbasis Logika *Fuzzy* dalam optimalisasi daya pada panel surya bereflektor cermin cekung.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini yaitu :

1. Dapat memperbaiki hasil keluaran tegangan, arus, dan daya pada panel surya bereflektor cermin cekung.
2. Diharapkan dapat memberikan solusi dalam memperbaiki daya keluaran dengan pengaruh penggunaan metode Logika *Fuzzy*.
3. Dapat mengetahui pengaruh *boost konverter* sebagai kontrol pada *Maximum Power Point Tracking* pada panel surya bereflektor cermin cekung.

1.6. Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi adalah sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan teori yang menguraikan pendapat atau hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisis hasil penelitian

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panel Surya (*Photovoltaic*)

Panel surya adalah suatu alat yang terdiri dari sel surya yang berfungsi untuk mengubah energi matahari (Iradiasi) kedalam bentuk energi listrik dengan proses efek *photovoltaic*. Panel surya sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya-listrik". Sel surya atau sel *PV* bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan (Atar Fuady Babgei). Efek *photovoltaic* adalah suatu fenomena di mana muncul tegangan listrik karena adanya suatu hubungan atau kontak dari dua elektroda, dimana keduanya dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya.

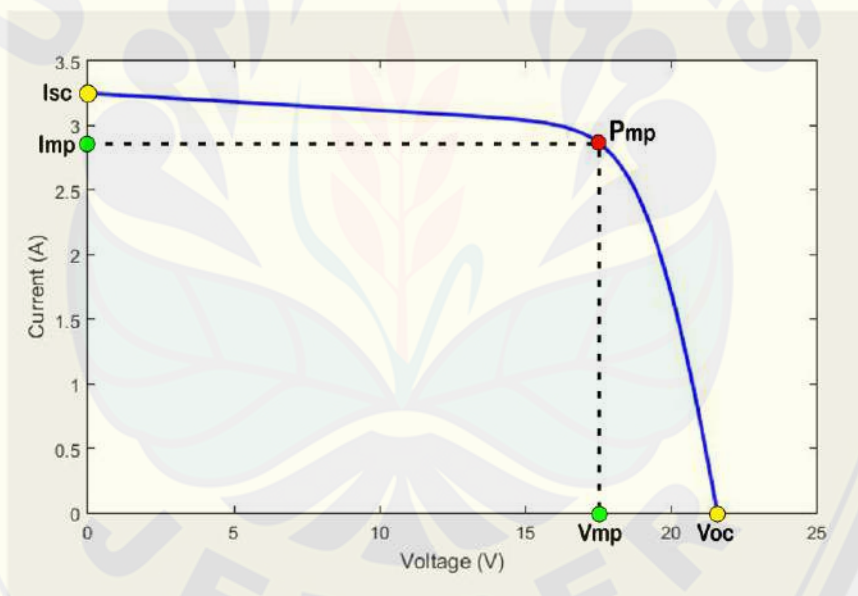
Panel Surya biasanya terbuat dari bahan semikonduktor yaitu *silicon*, di dalam *silicon* terdapat dua lapisan yaitu lapisan bermuatan positif dan bermuatan negatif, yang kemudian ada gerbang diantara dua lapisan tersebut, dimana gerbang itu akan terbuka apabila ada rangsangan dari cahaya matahari, sehingga membentuk suatu aliran elektron atau arus searah (DC). Tegangan listrik yang dihasilkan oleh sebuah sel surya sangat kecil, sekitar 0,5 – 1 Volt tanpa beban (open circuit) atau 0,45 V dengan beban. Untuk mendapatkan tegangan listrik yang besar sesuai keinginan diperlukan beberapa sel surya yang tersusun secara seri. Jika 36 keping sel surya tersusun seri, akan menghasilkan tegangan nominal sekitar 16 V



Gambar 2.1 sel surya (*Photovoltaic*)

2.1.1 Persamaan Karakteristik Sel Surya

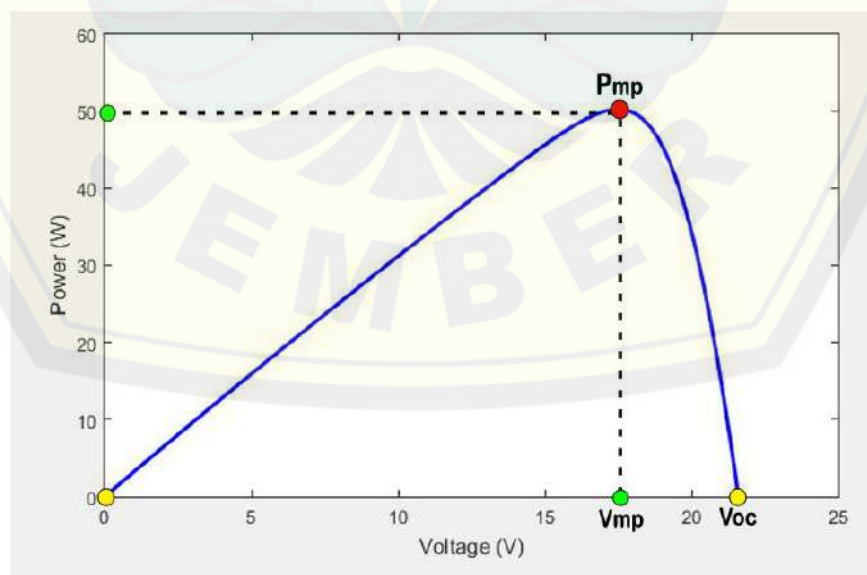
Mengetahui karakteristik sel surya sangat penting untuk proses pencarian titik daya maksimal. Karakteristik sel surya tersebut menjadi dasar atas dirumuskannya sebuah algoritma untuk memudahkan proses pencarian daya maksimal. Sel surya merupakan sebuah alat non-linear, sehingga untuk memahami karakteristiknya diperlukan suatu representasi dalam bentuk grafik. Sifat elektrik dari sel surya dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya pada kondisi cahaya (iradiasi), temperatur (Suhu panel) dan beban yang berbeda-beda. Karakteristik panel surya terdiri dari 2 persamaan grafik yaitu kurva arus – tegangan (I-V) dan kurva daya – tegangan (P-V).



Gambar 2.2 Karakteristik Grafik Kurva Arus terhadap Tegangan (I-V)

Pada Gambar 2.2 merupakan grafik kurva I-V pada panel surya GH 50P-18. Grafik tersebut diperoleh berdasarkan spesifikasi panel yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan perancangan simulasi pada *software* Matlab. Pada grafik diketahui titik Pmp (*Power maximum point*) yang merupakan titik daya maksimal yang bisa dicapai oleh panel surya GH-508-18. Nilai Pmp diketahui sebesar 50 Watt yang diperoleh dari perpotongan terhadap refleksi titik Imp

(*Current maximum point*) yang diwakilkan oleh garis putus – putus secara horisontal dan refleksi titik V_{mp} (*Voltage maximum point*) yang dapat ditarik garis putus – putus secara vertikal, sehingga dari refleksi ini didapat titik perpotongan yang selanjutnya titik tersebut disebut P_{mp} . V_{mp} adalah tegangan pada saat mencapai daya maksimal dan I_{mp} adalah arus pada saat mencapai daya maksimal. Besar V_{mp} dan I_{mp} dapat diketahui dari spesifikasi panel surya yang dijelaskan lebih lanjut pada Bab 3 tentang perancangan. Titik I_{sc} merupakan titik *short-circuit current* yang merupakan batas nilai maksimal pada saat arus panel dihubungsingkat. I_{sc} bisa disebut juga sebagai arus listrik *maximum* pada nilai tegangan bernilai nol. Sedangkan V_{oc} merupakan *open-circuit voltage* yaitu besarnya tegangan maksimal yang dapat dicapai oleh panel pada saat tegangan terbuka atau pada saat tanpa pembebanan. . V_{oc} bisa juga disebut tegangan *maximum* pada nilai arus nol. Grafik I-V *Curve* pada Gambar 2.2 tersebut menggambarkan keadaan sebuah Sel Surya beroperasi dalam keadaan iradiasi dan suhu yang optimal sehingga didapat nilai P_{mp} . Sel Surya akan menghasilkan energi maksimum jika nilai V dan I juga maksimum. Karakteristik grafik hubungan I-V ini menjadi dasar pembentukan algoritma *Incremental Conductance* yang merupakan sebuah algoritma dalam *MPPT*.



Gambar 2.3 Karakteristik Grafik Kurva Daya terhadap Tegangan (P-V)

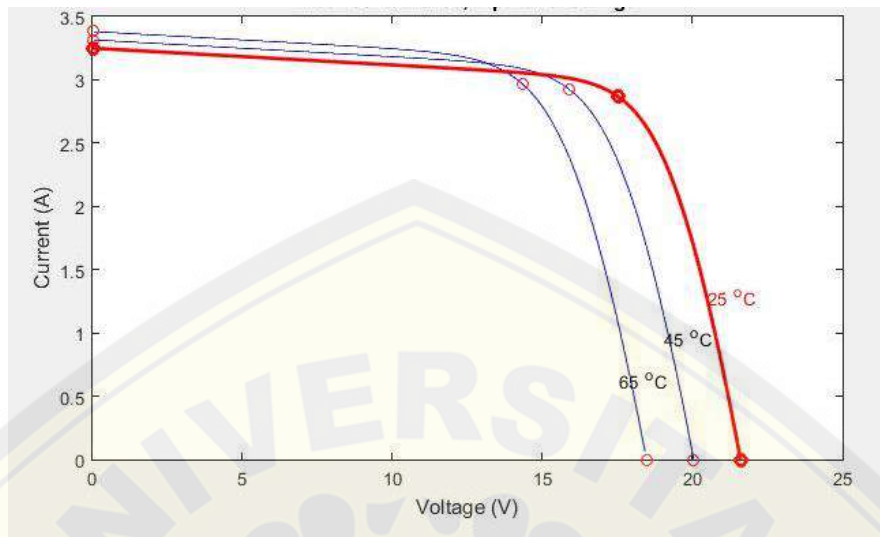
Pada Gambar 2.3 merupakan grafik karakteristik hubungan Daya terhadap Tegangan pada panel surya GH-50P-18. Nilai daya maksimal (P_{mp}) diperoleh pada saat tegangan mencapai nilai V_{mp} . Nilai P_m bersifat tak tetap atau fluktuatif bergantung dengan besarnya nilai iradiasi dan temperatur yang diterima oleh panel surya. Nilai P_m pada spesifikasi panel sebesar 50 watt adalah nilai daya maksimal yang dapat dihasilkan pada saat iradiasi masimal yakni sebesar 1000 W/m^2 dan temperatur yang optimum. Grafik karakteristik daya – tegangan ini menjadi dasar adanya algoritma Perturb and Observe yang digunakan pada penelitian ini untuk pencarian daya maksimal. Analisa algoritma Perturb and Observe ini adalah pada perubahan nilai daya dan perubahan nilai tegangan. Titik P_{mp} diketahui pada saat nilai error bernilai sama dengan 0, dengan ketentuan nilai error adalah perubahan nilai daya dibagi dengan perubahan nilai tegangan.

2.1.2 Faktor Pengoperasian Maksimum Sel Surya

Penelitian ini berfokus pada pengoptimalisasian daya dan iradiansi yang bisa didapat panel surya untuk memperoleh nilai daya maksimal. Kerja maksimum sel surya dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut ada yang berpengaruh cukup besar dan ada juga yang kecil pengaruhnya. Faktor yang mempengaruhi kerja maksimum sel surya adalah sebagai berikut

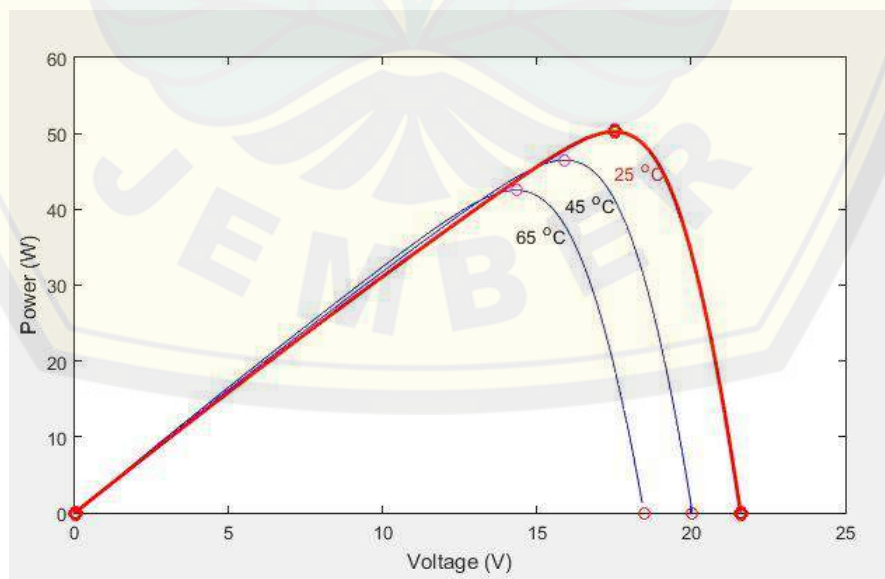
1. Temperatur Panel Surya

Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maksimal yaitu pada saat nilai daya berada pada titik maksimal jika temperatur sel dalam keadaan nilai optimum atau normal yaitu pada suhu $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada *PV* sel akan menurunkan nilai tegangan. Setiap kenaikan temperatur Sel Surya $1 \text{ }^\circ\text{C}$ (dari $25 \text{ }^\circ\text{C}$) akan berkurang sekitar 0.4% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2 kali lipat untuk menaikkan temperatur sel per $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Pada gambar 2.4 yaitu grafik hubungan I-V dengan berbagai variasi temperatur sebesar $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $45 \text{ }^\circ\text{C}$, dan $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Terlihat pada perubahan suhu yang semakin besar akan mempengaruhi nilai tegangan kerja pada panel surya semakin kecil. Suhu normal panel surya sebesar $25 \text{ }^\circ\text{C}$ akan menghasilkan nilai tegangan, arus, dan daya yang berada pada titik maksimal.



Gambar 2.4 Efek temperatur pada *photovoltaic* dalam karakteristik grafik Arus – Tegangan (I-V)

Pengaruh suhu juga berpengaruh pada karakteristik grafik hubungan daya – tegangan (P-V) pada gambar 2.5. Ketika panel berada pada suhu norma sebesar 25°C akan menghasilkan nilai daya maksimal sebesar 50 watt dengan nilai Voc sebesar 21,6 volt dan Vmp sebesar 17,5 volt berdasar spesifikasi panel yang digunakan.

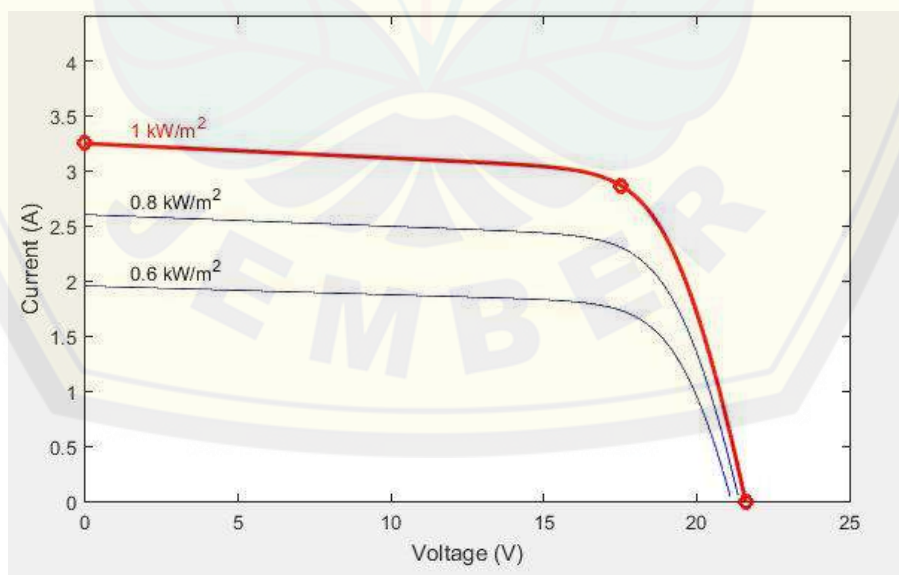


Gambar 2.5 Efek temperatur pada *photovoltaic* dalam karakteristik grafik Daya – Tegangan (P-V)

2. *Irradiance* matahari

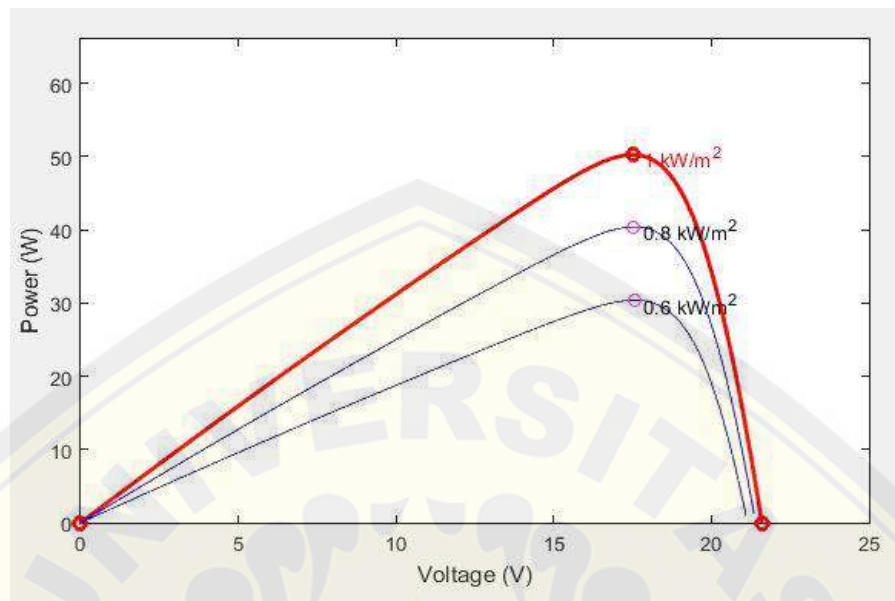
Irradiance atau daya iradiasi per unit area dijadikan parameter untuk mengetahui tingkat pencahayaan atau radiasi energi matahari di bumi yang ditangkap oleh panel surya dengan satuan W/m^2 . Alat yang digunakan untuk mengukur *Irradiance* adalah solar power meter. Nilai *Irradiance* matahari maksimal yang dapat diukur sebesar 1000 W/m^2 . *Irradiance* adalah salah satu faktor utama panel surya dalam menghasilkan besarnya daya listrik. Besarnya *Irradiance* berbanding lurus dengan besarnya daya yang dapat dihasilkan panel surya.

Pada spesifikasi panel surya yang digunakan untuk penelitian ini diketahui nilai P_m sebesar 50 Watt, nilai daya tersebut dapat dicapai ketika nilai *Irradiance* mencapai nilai maksimal sebesar 1000 W/m^2 . Pada analisa perhitungan hubungan *Irradiance* terhadap daya diketahui bahwa setiap perubahan *Irradiance* sebesar 100 W/m^2 menghasilkan perubahan daya sebesar 5 watt pada panel surya 50 WP, analisa tersebut akan dijelaskan pada bab 3 tentang perancangan. Pada gambar 2.6 dan 2.7 berikut adalah pengaruh *Irradiance* terhadap karakteristik grafik I-V dan P-V pada panel surya.



Gambar 2.6 Efek *Irradiance* pada photovoltaic dalam karakteristik

Grafik I – V



Gambar 2.7 Efek *Irradiance* pada photovoltaic dalam karakteristik Grafik P – V

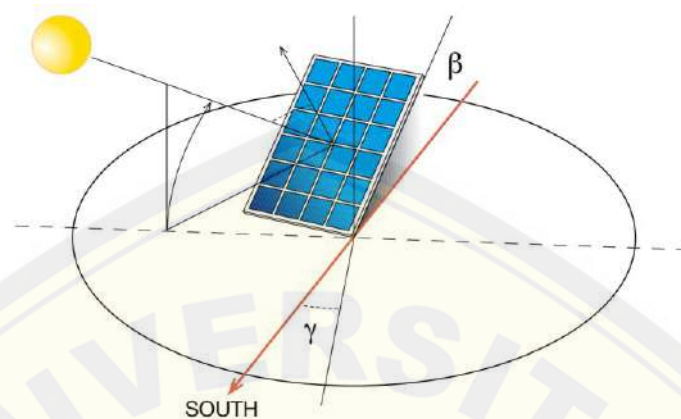
3. Kecepatan tiup angin

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi panel surya dapat mempengaruhi dan membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca *PV* array. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa temperatur berpengaruh pada keluaran nilai tegangan. Dengan pengaruh kecepatan tiup angin maka temperatur yang pada mulanya panas menjadi turun, sehingga tegangan juga akan semakin besar mengikuti penurunan suhu dalam batas suhu normal sebesar 25°C . Keadaan pada atmosfer bumi - berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (R_h), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus, tegangan dan daya keluaran pada panel surya.

4. Orientasi panel surya terhadap matahari (*tilt angle*)

Orientasi dari panel surya yang menghadap tegak lurus ke arah matahari adalah penting agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut kemiringan (*tilt angle*) dari panel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara latitude, maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke selatan, orientasi ke timur-barat walaupun

juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel surya, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.



Gambar 2.8 Orientasi panel terhadap sudut matahari (ABB SACE)

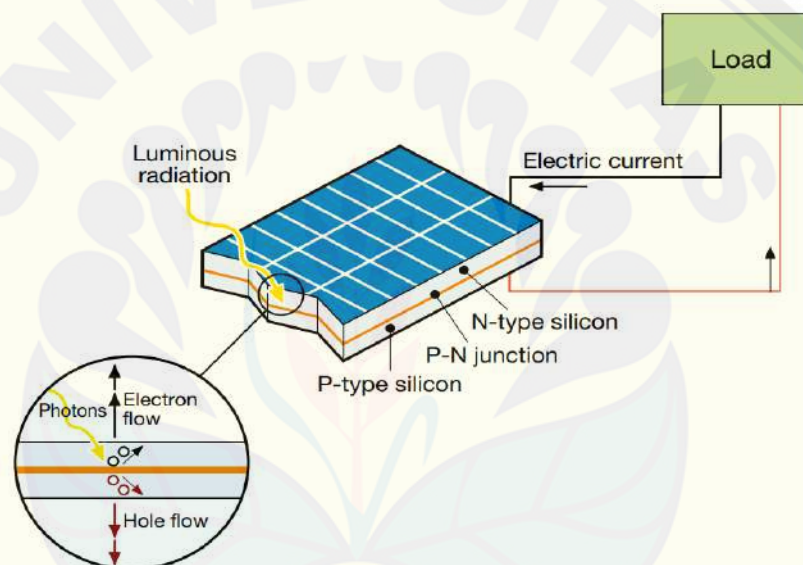
Mempertahankan sinar matahari yang akan diterima ke sebuah permukaan panel *PV* secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang *PV*, maka dibutuhkan panel *PV* yang sangat luas agar energi tidak berkurang. (*tilt angle* : sudut bidang panel *PV* terhadap *sun altitude* yang berubah setiap jam dalam sehari). Solar Panel *PV* pada *Equator* (*latitude* 0 derajat) yang diletakkan mendatar (*tilt angle* = 0) akan menghasilkan energi maximum, sedangkan untuk lokasi dengan *latitude* berbeda harus dicarikan *tilt angle* yang optimum



Gambar 2.9 Orientasi array pada panel surya

2.1.3. Prinsip Kerja Sel Surya.

Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor memiliki elektron yang terikat dengan lemah pada suatu pita energi yang disebut pita valensi. Ketika energi yang lebih besar dari batas *threshold* (*band gap energi*) diberikan kepada elektron di pita valensi tersebut, maka ikatan elektron tersebut akan putus. Kemudian elektron tersebut bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut pita konduksi. Elektron bebas pada pita konduksi dapat menghasilkan listrik. Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron ini dapat berasal dari foton, yang merupakan partikel dari cahaya.



Gambar 2.10. Skema efek *photovoltaic*. (ABB SACE)

Gambar 2.10. menunjukkan proses yang terjadi pada sel surya ketika dipaparkan cahaya. Foton-foton yang merupakan partikel cahaya menabrak elektron. Ketika energi foton tersebut cukup maka elektron akan didorong keluar dari pita valensi (V) melewati pita pemisah (*band gap*) menuju pita konduksi (CB). Kemudian suatu *selective contact* mengumpulkan elektron-elektron pada pita konduksi dan menggerakkan elektron-elektron tersebut. Elektron yang bergerak inilah yang disebut sebagai arus listrik. Energi dari arus listrik digunakan untuk mengerjakan berbagai hal sebelum kembali menuju pita valensi melalui *selective contact* yang kedua.

Sel surya dianggap sebagai suatu *pn junction* karena adanya “*doping*”. *Doping* ini menyebabkan salah satu *selective contact* menjadi sisi *p* (banyak muatan positif) dan yang lain menjadi sisi *n* (banyak muatan negatif). Pemodelan dan pemahaman prinsip kerja sel surya menjadi lebih sederhana dengan menggunakan konsep *pn junction*.

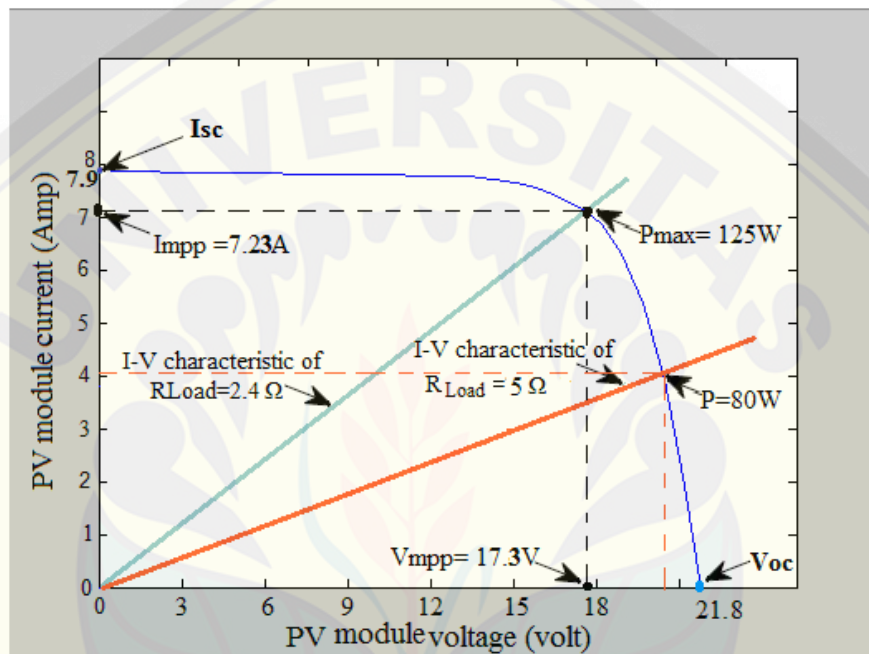
2.2 MPPT

Maximum power point tracking adalah sistem elektronik yang mengontrol sistem photovoltaic sehingga *photovoltaic* dapat beroperasi pada daya maksimum. *MPPT* bukanlah sistem pelacakan mekanis, namun kontrol elektronik yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada *photovoltaic*.

Seperti diketahui bahwa banyak sekali faktor yang mempengaruhi photovoltaic dalam beroperasi misalnya temperatur yang mempengaruhi nilai tegangan, dan intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan dan lain lain. Maka dari itu sistem *MPPT* memungkinkan kondisi yang variabel itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu. Umumnya *MPPT* terdiri dari Panel surya DC-DC converter dan kontrol digital. Dikarenakan kontrolnya berupa digital maka ada algoritma untuk mengontrolnya (Sugiharto, Danie Novin, 2010).

PV module atau panel surya langsung terhubung dengan DC-DC converter dalam hal ini jenis yang digunakan adalah *buck-Boost Converter*, dimana sinyal *input* dari Panel surya yang berupa tegangan atau arus juga masuk ke dalam PWM kontroler, dimana di kontroler inilah nanti diaplikasikan algoritma dalam perhitungan daya yang sinyalnya juga diambil dari *output* konverter kemudian setelah semua informasi yang dibutuhkan oleh kontroler sudah diterima, maka kontroler akan menghasilkan sinyal *outputnya* berupa PWM yang dikirimkan ke DC-DC konverter yang nantinya akan mempengaruhi nilai dari tegangan atau arus *output* itu kembali.

Sistem *MPPT* bekerja dengan cara memaksa panel surya agar bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang mengalir ke beban adalah daya maksimal. Pada umumnya digunakan DC-DC *converter* dalam sebuah sistem *MPPT* untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya (Atar Fuady Babgei).



Gambar 2.11 Perubahan titik kerja *PV* akibat perubahan beban
(Nasir Hussein Selman)

Jika *PV* disambungkan pada beban yang bervariasi akan menghasilkan keluaran daya yang berbeda-beda, tergantung pada besarnya nilai hambatan beban tersebut. Berdasarkan Gambar 2.11 kita dapat mengetahui bahwa titik kerja *PV* akan berubah sesuai dengan perubahan nilai hambatan beban. Berdasarkan grafik tersebut kita juga dapat mengetahui terdapat suatu titik kerja optimal, sehingga didapatkan daya maksimal. Titik kerja tersebut adalah pada V_{mp} , dan I_{mp} , dan akan menghasilkan P_{max} (Aries Pratama). Maka untuk mendapatkan daya maksimum tersebut digunakanlah *MPPT*.

Tabel 2.1. Karakteristik utama metode – metode MPPT

Sumber: ESRAM & Chapman, 2007

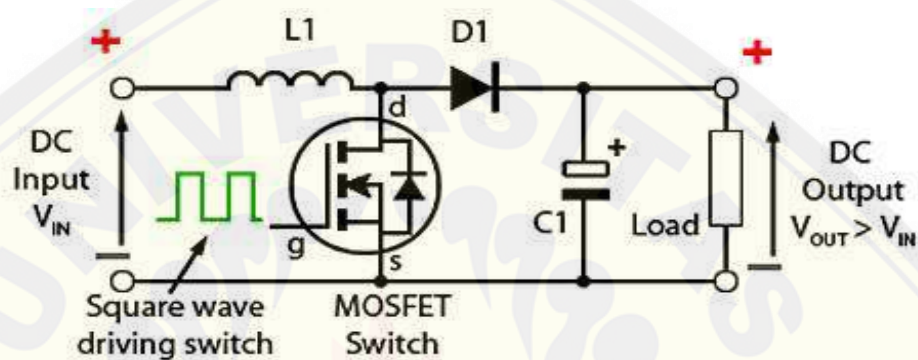
Metode MPPT	PV Array Dependent	True MPPT	Analog/Digital	Periodic Tunning	Waktu	Kompleksitas Pemasangan	Sensor
Hill-climbing/P&O	No	Yes	Both	No	Varies	Low	V,I
IncCond	No	Yes	Digital	No	Varies	Med	V,I
Fractional Voc	Yes	No	Both	No	Med	Low	V
Fractional Isc	Yes	No	Both	No	Med	Med	I
Fuzzy Logic Control	Yes	Yes	Digital	No	Fast	High	Varies
Neural Network	Yes	Yes	Digital	Yes	Fast	High	Varies
RCC	No	Yes	Analog	No	Fast	Low	V,I
Current Sweep	Yes	Yes	Digital	Yes	Slow	High	V,I
DC Link Capacitor Droop Control	No	No	Both	No	Med	Low	V
Load I or V Maximization	No	No	Analog	No	Fast	Low	V,I
dP/dV or dP/dI Feedback Control	No	Yes	Digital	No	Fast	Med	V,I
Array Reconfiguration	Yes	No	Digital	Yes	Slow	High	V,I
Linear Current Control	Yes	No	Digital	Yes	Fast	Med	Irradiance
IMPP & VMPP Computation	Yes	Yes	Digital	Yes	N/A	Med	Irradiance Temperature
State based MPPT	Yes	Yes	Both	Yes	Fast	High	V,I
OCC MPPT	Yes	No	Both	Yes	Fast	Med	I
BFV	Yes	No	Both	Yes	N/A	Low	None
LRCM	Yes	No	Digital	No	N/A	High	V,I
Slide Control	No	Yes	Digital	No	Fast	Med	V,I

2.3. Boost Converter.

Dc-dc converter adalah rangkaian elektronika daya untuk mengkonversi level tegangan dc ke level tegangan dc yang berbeda. Salah satu jenis *dc-dc converter* adalah *Boost Converter* (Hart, 1997). *Boost Converter* adalah suatu *dc-dc converter* yang memiliki arus masukan kontinyu dan arus keluaran diskontinyu (Xiao, Dunfort, Palmer, & Capel, 2007). Karakteristik tersebut membuat *Boost Converter* digunakan untuk sistem MPPT, sebab ketika arus terputus maka tegangan yang terukur akan sama dengan tegangan rangkaian terbuka. *Boost Converter* bekerja dengan cara membuka dan menutup *switch* secara berkala.

Boost Converter terdiri dari induktor, dioda, kapasitor dan komponen pensaklar. *Boost Converter* bekerja berdasarkan sinyal pensaklaran, t_{on} dan $t_{Chopper}$. Perbandingan waktu hidup (t_{on}) terhadap jumlah waktu keduanya disebut juga dengan *duty cycle*. Saat saklar hidup (*on*), energi disimpan pada induktor menjadi

medan magnet, saat saklar mati (*Chopper*), energi yang tersimpan pada induktor diubah lagi menjadi listrik dan didorong oleh tegangan *input* menjadi tegangan *output* sehingga nilainya menjadi lebih besar[10]. Karakteristik tersebut membuat *Boost Converter* digunakan untuk sistem *MPPT*, sebab ketika arus terputus maka tegangan yang terukur akan sama dengan tegangan rangkaian. Rangkaian dari konverter *Boost Converter* dapat dilihat pada gambar 2.12.

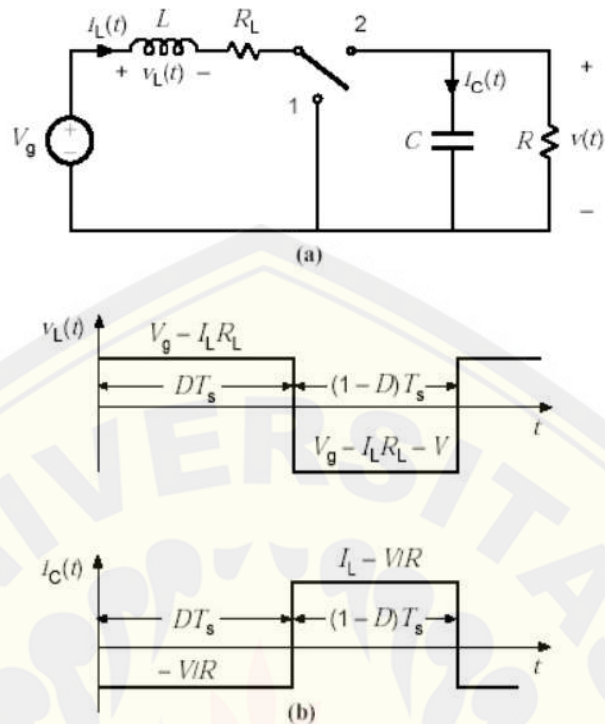


Gambar 2.12 Rangkaian Konverter DC-DC *Boost*

Dalam rangkaian *Boost Converter* sebuah induktor dihubungkan secara seri dengan tegangan suplai V_s , dan transistor terhubung untuk *switching* pasokan di induktor. Sebuah kapasitor terhubung ke beban untuk menghasilkan *output*, kemudian *Boost Converter* berfungsi tergantung pada saklar on dan *Chopper*, dan blok dioda akan membalikkan arus ketika saklar dihidupkan.

2.3.1 Prinsip Kerja *Boost Converter*

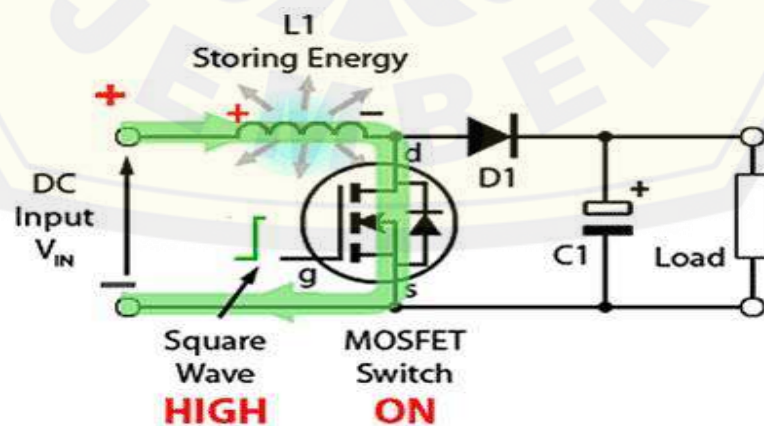
MOSFET yang digunakan pada rangkaian DC *Chopper* Tipe *Boost* adalah bertindak sebagai saklar yang dapat membuka atau menutup rangkaian sehingga arus dapat dikendalikan sesuai dengan *duty cycle* yang diinginkan. Berikut adalah skema secara umum dari DC *Chopper* Tipe *Boost*.



Gambar 2.13 (a) Skema *Boost Converter* (b) gelombang keluaran *Boost Converter*

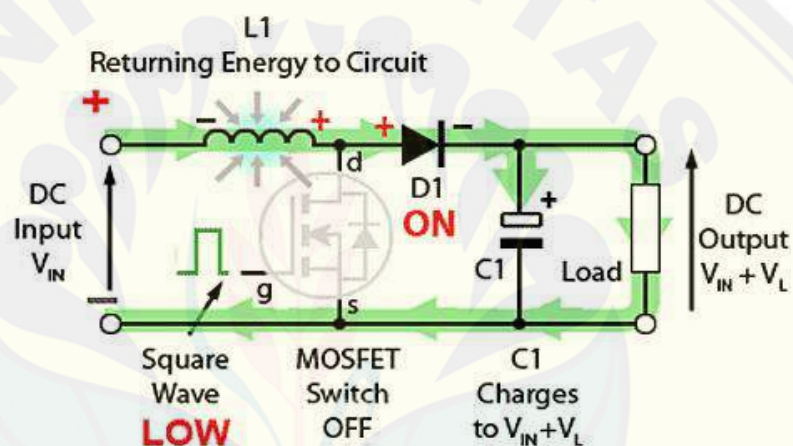
Prinsip kerja dari *Boost Converter* dapat dibagi menjadi 2 kondisi yaitu :

1. Ketika MOSFET *on* (tertutup) sedangkan dioda *Chopper* , arus mengalir searah jarum jam dari sumber menuju ke induktor (terjadi pengisian arus pada induktor). Polaritas induktor pada sisi kiri lebih positif dibandingkan sisi kanannya.



Gambar 2.14 MOSFET *Boost Converter* ON

2. Ketika MOSFET *Chopper* (terbuka) dan dioda *on*, arus yang disimpan di induktor akan berkurang karena impedansi yang lebih tinggi. Berkurangnya arus pada induktor menyebabkan induktor tersebut melawannya dengan membalik polaritasnya (lebih negatif pada sisi kiri). Sehingga, arus yang mengalir pada dioda dan pada beban adalah penjumlahan antara arus pada sumber dan arus pada induktor (seri). Disaat yang bersamaan kapasitor juga akan melakukan penyimpanan energi dalam bentuk tegangan. Itulah sebabnya *Boost Converter* memiliki keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan masukannya.



Gambar 2.15 MOSFET *Boost Converter CHOPPER*

2.3.2 Parameter perancangan *Boost Converter*

Empat parameter yang diperlukan untuk menghitung daya pada *Boost Converter* diantaranya yaitu :

1. Rentang Tegangan *Input*: $V_{in(min)}$ dan $V_{in(max)}$
2. Nominal Tegangan *Output*: V_{out}
3. *Output* Arus Max : I_{out}
4. Rangkaian yang terintegrasi yang digunakan untuk membangun *Boost Converter*. Hal ini diperlukan, karena beberapa parameter untuk

perhitungan harus diambil dari data sheet dari komponen yang digunakan dalam perancangan.

Langkah-langkah Perancangan *Boost Converter*

1. Perhitungan *duty cycle*

$$D_{min} = 1 - \frac{V_{max}}{V_O}$$

$$D_{max} = 1 - \frac{V_{min}}{V_O}$$

2. Perhitungan resistansi

Menentukan besarnya resistansi yang digunakan sebagai beban yang akan terhubung dengan konverter

$$R_{Lmin} = \frac{V_O}{I_{Omax}}$$

$$R_{Lmax} = \frac{V_O}{I_{Omin}}$$

3. Perhitungan Induktor

Setelah diketahui nilai pada *duty cycle*, selanjutnya adalah mencari nilai induktansi, besarnya induktansi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah :

- Induktansi

$$L_{min} = \frac{R_{Lmax} D_{min} (1 - D_{min})^2}{2f_s} =$$

- Arus *ripple*

$$\Delta i_{Lmax} = \frac{V_O D_{min} (1 - D_{min})^2}{f_s L}$$

- Arus *rms*

$$I_{Lrms} \approx I_{Lmax} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{max}}$$

Setelah nilai induktansi, arus *ripple* dan arus maksimum yang ada pada induktor telah diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung jumlah lilitan, pada penelitian ini jenis konduktor yang digunakan yaitu *torroidal core inductor* atau inti yang berbentuk O ring (bentuk donat) dengan nilai sesuai dengan hasil perhitungan

4. Perhitungan Jumlah lilitan

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

5. Perhitungan dan pemilihan jenis MOSFET

- Arus *switching* MOSFET

$$I_{SMmin} = I_{DMmax} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{min}} + \frac{V_O D_{max}(1 - D_{min})}{2f_s L}$$

- Arus rms

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{D_{max} I_{Omax}}}{1 - D_{max}}$$

Dengan data seperti yang ditunjukkan dalam perhitungan yang tertera diatas maka digunakan MOSFET dengan tipe berdasar perhitungan yang diperoleh

6. Perhitungan Kapasitor

- Tegangan ripple

$$V_r = 0,01 * V_O$$

- ESR maksimum

$$V_{rcpp} = V_{Ccpp} = \frac{V_r}{2}$$

$$r_{Ccpp} = \frac{V_r}{2}$$

- Sehingga didapatkan nilai dari kapasitor minimum yang akan digunakan pada *Boost Converter*

$$C_{min} = \frac{D_{max} * V_O}{f_s R_{Lmin} V_{rcpp}}$$

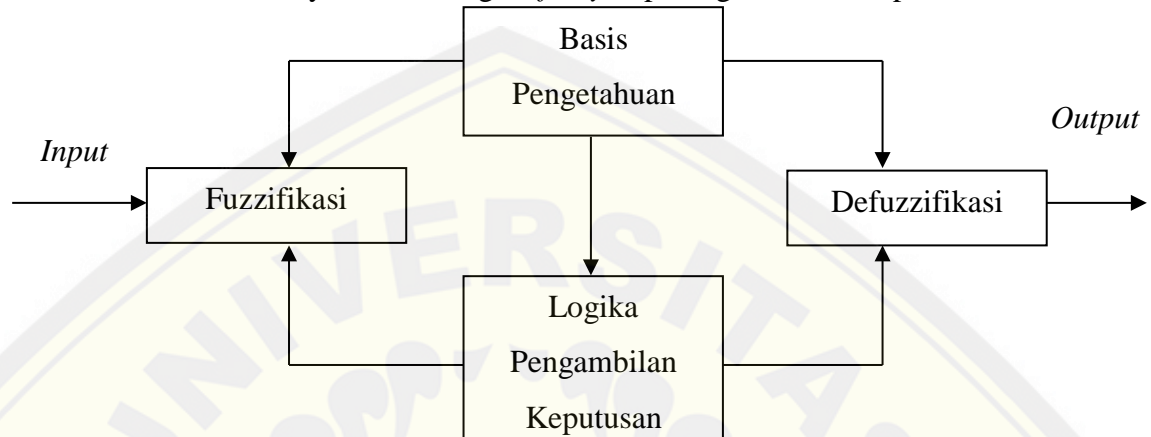
2.4 Logika Fuzzy

Dalam bahasa inggris, *fuzzy* mempunyai arti kabur atau tidak jelas. Jadi, *fuzzy logic* adalah logika yang kabur, atau mengandung unsur ketidakpastian. Pada logika biasa, yaitu logika tegas, kita hanya mengenal dua nilai, salah atau benar, 0 atau 1. Sedangkan *fuzzy logic* mengenal nilai antara benar dan salah. *Fuzzy logic* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam

dan putih, dan dalam bentuk *linguistik*, konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat".

2.4.1 Struktur Dasar Logika Fuzzy

Pada dasarnya struktur logika *fuzzy* dapat digambarkan seperti berikut :



Gambar 2.16. Struktur dasar logika *fuzzy* (Jabar Al Hakim)

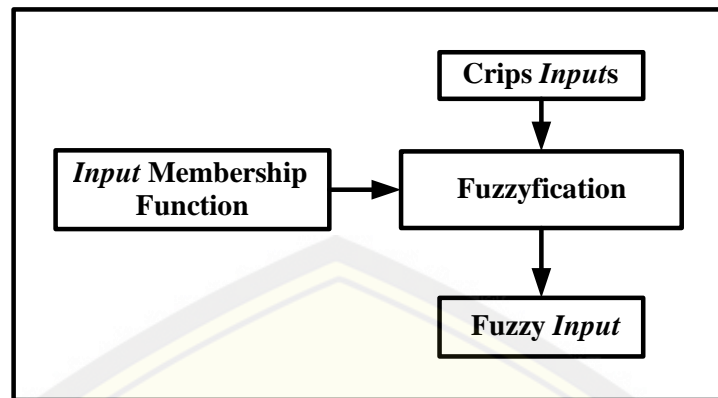
Fungsi dari bagian-bagian di atas adalah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat *crisp* (bukan *fuzzy*) ke himpunan *fuzzy* dengan menggunakan operator fuzzifikasi. Fuzzifikasi atau *Fuzzyfication* adalah proses yang dilakukan untuk mengubah variabel nyata menjadi variabel *fuzzy*, ini ditujukan agar masukan kontroler *fuzzy* bisa dipetakan menuju jenis yang sesuai dengan himpunan *fuzzy*. Pemetaan dilakukan dengan bantuan model dari fungsi keanggotaan agar dapat diketahui besar masukan tersebut (derajat keanggotaan). Terdapat beberapa jenis penggambaran fungsi keanggotaan, antara lain :

1. Gaussian
2. Segitiga
3. Trapesium
4. Bahu

Komponen lainnya yang memiliki peranan penting adalah Label. Label didefinisikan dari fungsi keanggotaan, fungsi keanggotaan apabila dikumpulkan akan menghasilkan *fuzzy set*. Dalam logika *fuzzy* terdapat *basispengetahuan*, dimana terdiri dari fakta (*data base*), dan kaidah atur (*rulebase*).

Gambar 2.17 *Fuzzification*

2. Basis Pengetahuan

Prosedur fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel *numerik*) menjadi variabel *fuzzy* (variabel *linguistik*). Nilai *error* dan *delta error* yang dikuantisasi sebelumnya diolah oleh kontroler logika *fuzzy*, kemudian diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. Melalui *membership function* (fungsi keanggotaan) yang telah disusun, maka dari nilai *error* dan *delta error* kuantisasi akan didapatkan derajat keanggotaan bagi masing-masing nilai *error* dan *delta error*.

Pada umumnya aturan-aturan *fuzzy* dinyatakan dalam bentuk “*IF antecedent THEN consequent*” yang merupakan inti dari relasi *fuzzy*. Terdapat dua model aturan *fuzzy* yang digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, yaitu:

1. Model Mamdani
2. Model Sugeno

Berisi basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah - daerah masukan dan keluaran dan menyusunnya dalam perangkat aturan. Basis pengetahuan terdiri dari fakta (*Data Base*), dan kaidah atur (*Rule Base*). Fakta merupakan bagian pengetahuan yang memuat informasi tentang objek, peristiwa, atau situasi. Fakta umumnya menyatakan kondisi statik dari suatu objek. Sedangkan kaidah (*Rulebase*) berisi informasi tentang cara membangkitkan fakta baru atau hipotesa fakta yang sudah ada.

a. Basis Data (*Data Base*)

Basis data berfungsi untuk mendefinisikan himpunan - himpunan *fuzzy* dari sinyal masukan dan sinyal keluaran agar dapat digunakan oleh variabel linguistik dalam basis aturan. Dalam pendefinisian tersebut biasanya dilakukan secara subjektif dengan menggunakan pendekatan heuristik dan didasarkan pada pengalaman dan pertimbangan yang menyangkut kerekayasaan, sehingga bergantung penuh pada perancang.

b. Kaidah Atur (*Rule Base*)

Kaidah atur dalam *fuzzy* ini biasanya tersusun dengan pernyataan :
IF (*antecedent*) THEN (*consequent*) atau dapat juga IF x is A THEN y is B .

Antecedent : berisi himpunan fakta *input* (sebab).

Consequent : berisi himpunan fakta *output* (akibat).

IF ... THEN ... dalam logika *fuzzy* akan melakukan pemetaan dari himpunan *fuzzy input* ke himpunan *fuzzy output*.

3. Logika Pengambil Keputusan

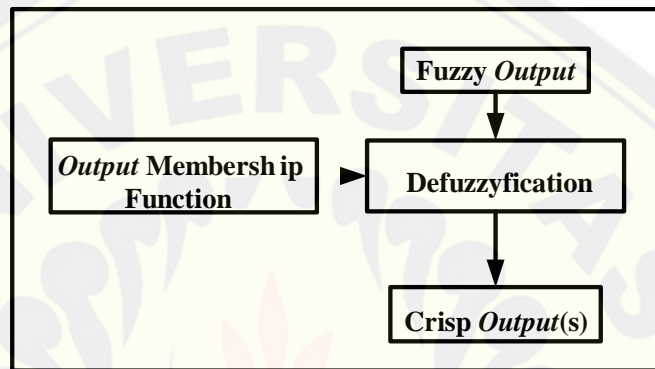
Merupakan inti dari Logika *Fuzzy* yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan. Aksi atur *fuzzy* disimpulkan dengan menggunakan implikasi *fuzzy* dan mekanisme inferensi *fuzzy*.

4. Defuzzifikasi

Berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi atur yang bersifat *fuzzy* menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat *crisp* dengan menggunakan operator defuzzifikasi (Jabar Al Hakim).

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan besaran *fuzzy* yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Hal ini diperlukan sebab dalam aplikasi nyata yang dibutuhkan adalah nilai tegas (*crisp*). Prosesnya adalah ketika suatu nilai *fuzzy output* yang berasal dari rule evaluation diambil kemudian dimasukkan ke dalam suatu *membership function output*.

Bentuk bangun yang digunakan dalam *membership function output* adalah bentuk *singleton* yaitu garis lurus vertikal ke atas, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah. Besar nilai *fuzzy output* dinyatakan sebagai *degree of membership function output*. Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam suatu rumus yang dinamakan COG (*Center Of Gravity*) untuk mendapatkan hasil akhir yang disebut *crisp output*. *Crisp output* adalah suatu nilai analog yang akan kita butuhkan untuk mengolah data pada sistem yang telah dirancang.



Gambar 2.18 *Defuzzification*

2.5 Sensor Tegangan

Sensor tegangan dapat digunakan untuk mengukur tegangan AC maupun DC, walau demikian algoritma pengukuran yang diterapkan tidaklah sama. Tegangan DC relatif bernilai konstan sehingga mudah untuk diukur, berbeda halnya dengan tegangan AC yang terus berubah sesuai bentuk gelombang sinus dan memiliki magnitude tegangan dalam wilayah positif dan negatif. Besaran tegangan efektif AC dapat diketahui apabila tegangan maksimum/puncak diketahui. Dengan menggunakan algoritma yang tepat dan persamaan matematis yang berkesesuaian, nilai maksimum dan nilai efektif tegangan AC dapat ditemukan.

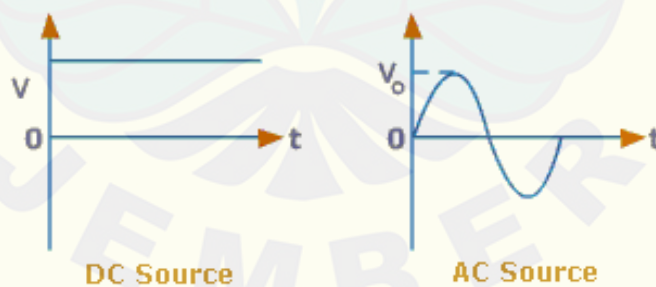
Sensor tegangan merupakan piranti yang umum digunakan pada peralatan elektronik. Secara sederhana sensor tegangan bisa didapatkan melalui perancangan rangkaian pembagi tegangan seperti terlihat pada gambar 1a, dan juga dapat didesain menggunakan transformator seperti terlihat pada gambar 1b. Sensor tegangan dengan menggunakan pembagi tegangan dapat digunakan pada tegangan

AC maupun DC, sedangkan sensor yang menggunakan transformator hanya dapat digunakan untuk men-sensing tegangan AC.



Gambar 2.19. Sensor tegangan

Terlepas dari jenis sensor tegangan yang digunakan, dalam aplikasi berbasis mikroprosesor teknik pembacaan tegangan AC dan DC sangatlah berbeda. Tegangan DC seperti terlihat pada gambar 12 memiliki sifat nilai yang relatif konstan, selain itu tegangan DC pada umumnya hanya berada pada satu kuadran (positif saja atau negatif saja). Dengan sifat/karakteristik tegangan seperti di atas pembacaan tegangan DC menjadi mudah untuk diterapkan. Berbeda dengan tegangan AC, bentuk tegangannya tidak konstan melainkan mengikuti bentuk sinus. Selain itu tegangan AC berada pada dua kuadran, positif maupun negatif, sehingga tidak dapat langsung diberikan ke pin *input* mikroprosesor.



Gambar 2.20. Bentuk tegangan DC dan AC

2.6 Sensor Arus

Sensor ACS712 adalah merupakan sebuah perangkat elektronik dalam bentuk sesor yang berfungsi untuk mengukur arus AC ataupun DC yang mengalir pada suatu rangkaian listrik. Pada sensor arus ACS712 ini masih memiliki kekurangan yaitu nilai arus yang di dapatkan dari sensor tidak linear (berubah –

ubah). Kelebihan sensor ini Memiliki sinyal analog dengan sinyal-gangguan rendah (*low-noise*). Sensor arus ACS712 ini memiliki tipe variasi sesuai dengan arus maksimal yakni 5A, 20A, 30A.



Gambar 2.21 Sensor Arus ACS712 30A

Pada pembahasan kali ini sensor arus yang di gunakan adalah variasi ACS712 dengan nilai arus maksimal 30A buatan LC Electronics dengan menggunakan Arduino UNO sebagai Mikrokontrollernya. Sensor Arus ACS712 – 30 A ini memang memiliki karakteristik dan tes kondisi bagaimana sensor arus ACS712 -30A ini bekerja, berikut pada tabel dibawah ini dapat dilihat dari cuplikan dari datasheet ACS712 - 30A di bawah ini :

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	64	66	68	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta I_{\text{OUT(O)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

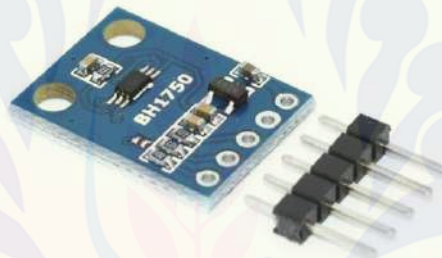
²Percentage of I_P , with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.

Gambar 2.22. Karakteristik Sensor Arus ACS712 30A

Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh integrated Hall IC dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan hall transducer secara berdekatan.

2.7 Sensor Intensitas Cahaya BH1750

Ambient *Light* Sensor adalah modul sensor cahaya yang menggunakan chip sensor BH1750FVI dengan koneksi serial I2C. Sensor ini mempunyai sensitivitas yang tinggi, rentang pengukuran cahaya yang luas dan tidak terpengaruh oleh sinar infra merah. Sangat cocok digunakan sebagai modul sensor cahaya / ambient sensor untuk project microcontroller arduino. Sensor BH1750 ini lebih akurat dan lebih mudah digunakan jika dibandingkan dengan sensor lain seperti fotodiode, LDR, dan sensor lainnya yang memiliki keluaran sinyal analog dan perlu melakukan perhitungan untuk mendapatkan data intensitasnya. Untuk alasan ekonomis dan teknis dipilih sensor BH1750 sebagai sensor intensitas radiasi matahari.



Gambar 2.23 Sensor Intensitas Cahaya BH-1750

Modul sensor BH1750 ini memiliki kelebihan dibanding sensor berbasis LDR, antara lain :

- a. Keluaran digital yang dikonversi secara terpadu menggunakan ADC (Analog-to-Digital Converter) beresolusi tinggi (16-bit) yang sangat presisi
- b. Tidak diperlukan kalkulasi secara manual, data yang dihasilkan merupakan tingkat fluks kecerahan dalam satuan *Lux* yang selaras dengan persepsi mata manusia
- c. Dapat mendeteksi tingkat intensitas yang luas, dari gelap total hingga paparan cahaya matahari langsung
- e. Memiliki penyaring terhadap derau cahaya (*light noise*) pada frekuensi 50Hz / 60Hz yang dipancarkan peralatan elektronika lainnya
- f. Nyaris tidak terpengaruh oleh emisi cahaya inframerah

2.8. Mikrokontroler

Beberapa mikrokontroler memiliki *timer/counter*, ADC (*Analog to Digital Converter*), dan komponen lainnya. Pemilihan komponen tambahan yang sesuai dengan tugas mikrokontroler akan sangat membantu perancangan sehingga dapat mempertahankan ukuran yang kecil. Apabila komponen-komponen tersebut belum ada pada suatu mikrokontroler, umumnya komponen tersebut masih dapat ditambahkan pada sistem mikrokontroler melalui port-portnya.

2.8.1 Arduino

Arduino pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware* nya memiliki prosesor Atmel AVR dan *software* nya memiliki bahasa pemrograman sendiri.

Arduino sebagai sebuah *platform* komputasi fisik (*Physical Computing*) yang *open source* pada *board input output* sederhana, yang dimaksud dengan *platform* komputasi fisik disini adalah sebuah sistem fisik yang interaktif dengan penggunaan *software* dan *hardware* yang dapat mendeteksi dan merespons situasi dan kondisi. Arduino Uno merupakan *board* mikrokontroler yang berbasis Atmega 328. *Board* ini memiliki 14 digital pin *input / output* (dimana 6 dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input* analog, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP, dan tombol reset.

Arduino Uno berbeda dari semua *board* sebelumnya yang tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Sebaliknya, fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai versi R2) diprogram sebagai konverter USB-to-serial. Menurut Artanto (2012:2), kelebihan arduino dari *platform hardware* mikrokontroler lain adalah:

1. IDE Arduino merupakan multiplatform, yang dapat dijalankan di berbagai sistem operasi, seperti *Windows*, *Macintosh* dan *Linux*.
2. IDE Arduino dibuat berdasarkan pada IDE *Processing*, yang sederhana sehingga mudah digunakan.

3. Pemrograman arduino menggunakan kabel yang terhubung dengan port USB, bukan port serial. Fitur ini berguna karena banyak komputer yang sekarang ini tidak memiliki *port* serial.
4. Arduino adalah hardware dan software open source pembaca bisa mendownload software dan gambar rangkaian arduino tanpa harus membayar ke pembuat arduino.
5. Biaya *hardware* cukup murah, sehingga tidak terlalu menakutkan untuk membuat kesalahan.
6. Proyek arduino ini dikembangkan dalam lingkungan pendidikan sehingga bagi pemula akan lebih cepat dan mudah mempelajarinya.
7. Memiliki begitu banyak pengguna dan komunitas di internet dapat membantu setiap kesulitan yang dihadapi.

2.8.2 Hardware

Papan Arduino merupakan papan mikrokontroler yang berukuran kecil atau dapat diartikan juga dengan suatu rangkaian berukuran kecil yang didalamnya terdapat komputer berbentuk suatu chip yang kecil. Hardware memiliki prosesor AtmelAVR dan software memiliki bahasa pemrograman sendiri. Arduino juga merupakan platform hardware terbuka yang ditujukan kepada siapa saja yang ingin membuat purwarupa peralatan elektronik interaktif berdasarkan hardware dan software yang fleksibel dan mudah digunakan



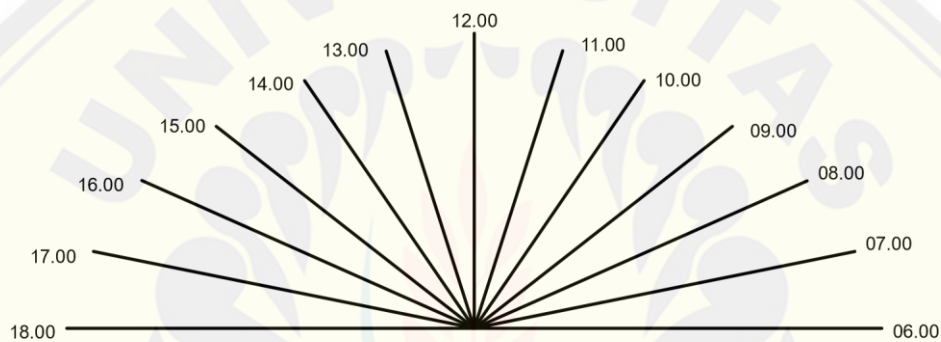
Gambar 2.24. Hardware Arduino Uno

2.9 Bumi Terhadap Matahari

Posisi Matahari berubah setiap saat karena rotasi bumi. Bumi berotasi sebesar 360° dari timur menuju barat pada garis bujur dengan periode rotasi 23jam 56 menit 4,09 detik (~ 24 jam). Dari data tersebut dapat diambil suatu tetapan dalam satuan waktu bahwa setiap 1° bujur ditempuh dalam waktu:

$$\frac{1}{360^{\circ}} \times (24 \times 60) = 4 \text{ menit} \quad (2.12)$$

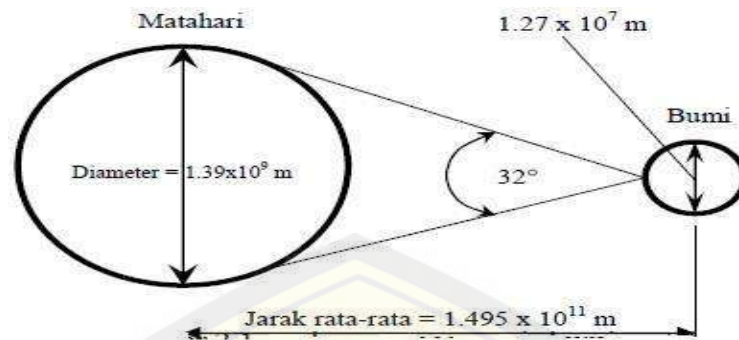
Dari persamaan diatas maka dapat diketahui bahwa setiap bumi berotasi sebesar 15° bujur akan ditempuh dalam waktu 1 jam (Utomo, 2016).



Gambar 2.25 Timing waktu setiap 15° (Sumber : Utomo, 2016)

2.9.1 Konstanta Surya

Hubungan geometris dari matahari-bumi ditunjukkan Gambar 2.26 Jarak eksentrisnya dari lintasan bumi adalah jarak antara matahari dan bumi dengan variasi 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata bumimatahari adalah $1,495 \times 10^{11}$ m, dengan sudut kecenderungan matahari 32° . Radiasi yang diemisikan oleh matahari dan ruang angkasa ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari, G_{sc} , adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata mataharibumi di luar atmosfer. *World Radiation Center* (WRC) mengambil nilai konstanta matahari, G_{sc} , sebesar 1367 W/m sebesar 1 %. (Mulyono, 2003).



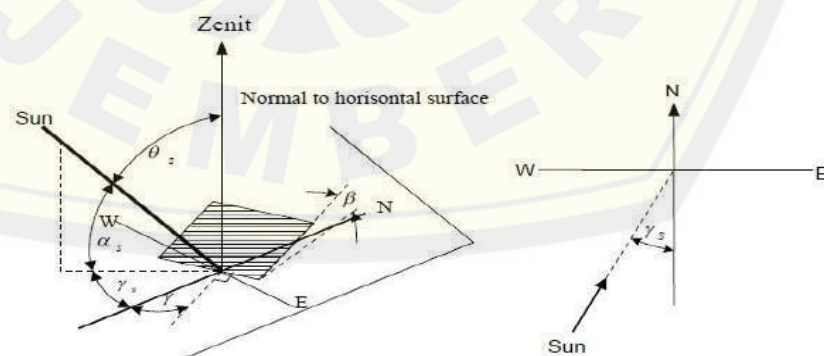
Gambar 2.26 Hubungan geometris bumi-matahari (Sumber: Mulyono, 2003)

Konstanta radiasi ekstraterrestrial, G_{on} , yaitu radiasi di luar atmosfer bumi yang diukur pada bidang normal terhadap radiasi pada hari ke- n pada satu tahun. Hal ini dikarenakan orbit bumi sebenarnya berbentuk *elips*, sehingga perlu sedikit koreksi terhadap konstanta matahari di atas. Jadi sebenarnya ada dua penyebab adanya variasi radiasi ekstraterrestrial yaitu variasi radiasi yang diemisikan matahari dan variasi jarak matahari-bumi. Persamaannya (Mulyono, 2003) adalah

$$G_{on} = G_{SC} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (2.13)$$

2.9.2 Pengaruh Posisi Relatif Matahari Terhadap Bumi

Posisi relatif matahari terhadap suatu bidang di bumi bisa dinyatakan dalam beberapa sudut. Beberapa diantaranya bisa dilihat pada gambar 2.27 Sudut sudut itu (Mulyono, 2003) adalah:



Gambar 2.27 Beberapa sudut penting dalam energi surya (Mulyono, 2003)

- a. ϕ , *latitude* (garis lintang) : Sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari equator
(khatulistiwa), utara positif ; $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.
- b. δ , *declination* (deklinasi) : Sudut posisi matahari saat *solar noon* yang berhubungan terhadap bidang khatulistiwa, utara positif; $-23,45^\circ < d < 23,45^\circ$.
- c. β , *slope* (kemiringan) : Sudut antara permukaan bidang yang ditanyakan dengan permukaan horisontal ; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.
- d. γ , *surface azimuth angle* (sudut permukaan azimuth) : Proyeksi ke bidang horisontal normal terhadap permukaan dari lokasi bujur, dengan nol menghadap selatan, timur negatif, barat positif ; $-180^\circ \leq g \leq 180^\circ$.
- e. ω , *hour angle* (sudut jam) : Sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar 15° per jam ; sebelum jam 12.00 negatif, setelah jam 12.00 positif.
- f. θ , *angle of incidence* (sudut datang) : Sudut antara permukaan radiasi langsung normal vertikal terhadap radiasi langsung vertikal kolektor.
- g. θ_z , *zenith angle* (sudut zenith) : Sudut antara garis vertikal bidang normal dan garis datang sinar matahari.
- h. α_s , *solar altitude angle* (sudut ketinggian matahari) : Sudut antara garis horisontal dengan garis matahari datang.
- i. γ_s , *solar azimuth angle* (sudut azimuth matahari) : Sudut penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horisontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif.

2.9.3 Menentukan Sudut Datang Radiasi Matahari Ke Reflektor

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan menggunakan *reflector* sehingga memberikan penambahan radiasi melalui pantulan dari *reflektor*. Persamaan yang menghubungkan antara sudut datang dari *beam radiation* pada permukaan kolektor dengan sudut lain (Utomo, 2016) adalah:

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.14)$$

Berdasarkan dari rumus dari sudut datang matahari dapat diperhitungkan sebagai (Utomo, 2016) berikut:

$$\begin{aligned} \cos \theta_r &= (\sin \delta \sin \phi \cos \beta_r) - (\sin \delta \cos \phi \sin \beta_r \cos \gamma_r) + \\ &(\cos \delta \cos \phi \cos \beta_r \cos \omega) + (\cos \delta \sin \phi \sin \beta_r \cos \gamma_r \cos \omega) \\ &+ (\cos \delta \sin \beta_r \sin \gamma_r \sin \omega) \end{aligned} \quad (2.15)$$

dengan

- θ_r = Merupakan sudut datang radiasi ke *reflector*
- δ = Merupakan sudut deklinasi
- ϕ = Merupakan sudut lintang dari tempat pengambilan data
- β_r = Sudut *stop reflector*
- γ_r = Sudut azimuth *reflector*
- ω = Sudut jam derajat.

Pada persamaa diatas kita terlebih dahulu menentukan sudut lintang yang diperoleh dari pengukuran titik tempat pengujian. Sudut *stop reflektor* diperoleh dari sudut yang dibentuk dari hasil pemberhentian reflektor setiap selesai melakukan *scanning* daya. Sedangkan untuk mendapatkan sudut *deklinasi* dapat dilakukan perhitungan dengan rumus :

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (2.16)$$

dengan nilai n adalah tanggal ke-n pada suatu tahun.

Untuk menghitung sudut azimuth dapat dihitung dengan rumus:

$$\gamma_r = \gamma + 90^0 \quad (2.17)$$

dengan : $\sin \gamma = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z}$

Untuk menghitung sudut jam dapat dihitung dengan rumus:

$$\omega = (t_s - 12) \times \frac{360}{24} \quad (2.18)$$

dimana t_s diambil dari jam tengah antara jadwal jam awal pengambilan data dan jam akhir pengambilan data (Utomo, 2016)

2.9.4 Menentukan Radiasi Pantulan dari Reflektor

Pada penelitian ini juga akan di analisis mengenai sudut radiasi pantul dari *reflektor*. Untuk menentukan radiasi pantul oleh reflektor diperlukan beberapa langkah-langkah sebagai berikut :

a. Menentukan Radiasi *Ekstraterestial* Pada Bidang *Horizontal*

$$G_o = G_{SC} \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360}{365} \right) (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta) \right] \quad (2.19)$$

dengan: G_{SC} = Konstanta matahari 1353 W/m^2 b. Menentukan Indeks Langit

$$K_T = \frac{G}{G_o} \quad (2.20) \quad c.$$

Menentukan Radiasi Langsung

$$G_b = G - G_d \quad (2.21) \quad \text{Dengan}$$

$$G_d = G(0,9511 - 0,1604 K_T + 4,388 K_T^2 - 16,638 K_T^3 + 12,336 K_T^4) \quad (2.22)$$

d. Menentukan Faktor Geometri *Reflektor*

$$R_{br} = \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_z} \quad (2.23)$$

dengan: $\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi$

Untuk menentukan radiasi dari *reflector* cermin datar yang menimpa pada panel surya kita dapat menghitungnya dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Utomo, 2016)

$$GT = G_b \cdot R_{br} \cdot A_{Rr} \cdot \rho_r \quad (2.24)$$

dengan:

GT = radiasi masukan *reflector*

G_b = Radiasi langsung

R_{br} = Faktor geometri reflektor

AR_r = Rasio luasan yang terkena radiasi reflector (1)

ρ_r = Konstanta pantulan difusi (0,85)

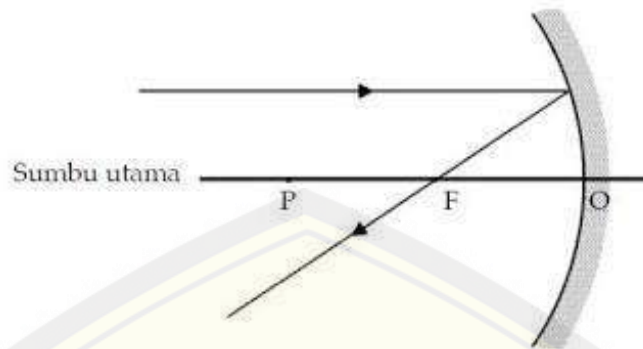
2.10 Cermin Cekung

Cermin cekung merupakan suatu cermin yang memiliki penampang yang cekung seperti mangkuk. Cermin cekung disebut juga cermin konvergen karena bersifat mengumpulkan sinar pantul. Titik berkumpulnya sinar pantul disebut titik fokus atau titik api. Pantulan cermin cekung pada titik fokus dapat digambarkan seperti Gambar 2.28 (Setiawan, 2015).



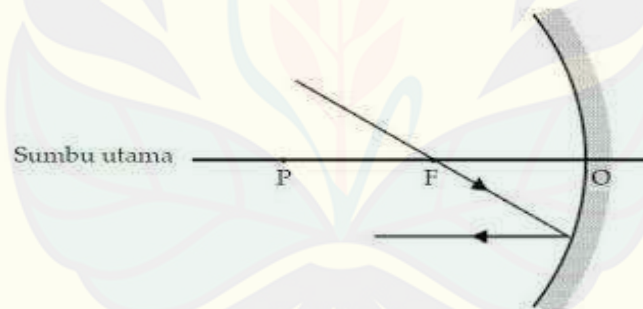
Gambar 2.28 Pantulan cermin cekung (Sumber : Setiawan, 2015)

Seperti halnya pada cermin datar, pada cermin cekung berlaku hukum pemantulan cahaya. Pada cermin cekung terdapat beberapa sinar istimewa yang berlaku pada hukum pemantulan cahaya, yaitu sebagai berikut:



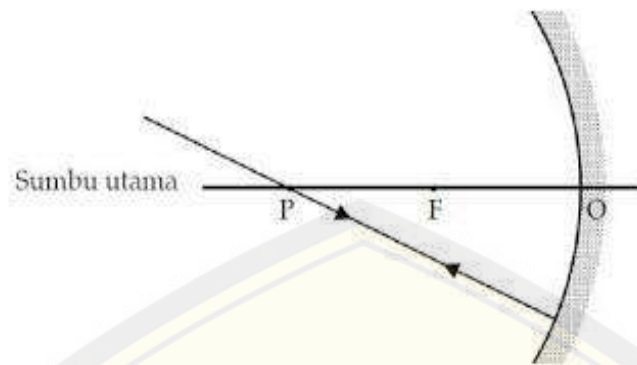
Gambar 2.29 Pantulan cermin cekung ketika sinar datang sejajar sumbu utama (Sumber : www.bukupedia.net)

1. Sinar datang yang sejajar sumbu utama akan dipantulkan melalui titik fokus cermin.
2. Sinar datang yang melalui titik fokus cermin akan dipantulkan sejajar sumbu utama.



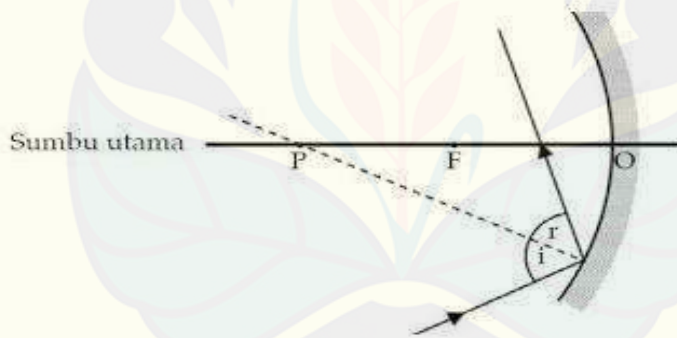
Gambar 2.30 Pantulan cermin cekung ketika sinar datang melalui titik fokus (Sumber : www.bukupedia.net)

3. Sinar datang yang melalui titik pusat kelengkungan cermin akan dipantulkan kembali melalui titik yang sama.



Gambar 2.31 Pantulan cermin cekung ketika sinar datang melalui titik pusat kelengkungan (Sumber : www.bukupedia.net)

4. Sinar yang datang dengan arah sembarang akan dipantulkan sedemikian sehingga sudut datang sama dengan sudut pantul.



Gambar 2.32 Pantulan cermin cekung ketika sinar datang dari arah sembarang (Sumber : www.bukupedia.net)

Untuk mendapatkan pantulan cahaya yang tepat, dibutuhkan *spesifikasi* cermin cekung yang sesuai dengan kebutuhan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan sebuah perhitungan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Panjang Busur} = \frac{\text{Besarnya Sudut Juring} \times 2\pi r}{360^\circ} \quad (2.25)$$

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Secara umum proses penelitian, analisis, perancangan, pembuatan dan pengujian dilakukan pada :

Tempat : Lab. Sistem Kendali, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Alamat : Jl Slamet Riyadi No. 62 Patrang Jember 68111.

Waktu : Januari 2019 – November 2019

3.2 Tahap Penelitian

Dalam penelitian yang akan dilakukan terdapat serangkaian tahap dan perencanaan untuk mencapai target dan tujuan yang diharapkan. Diantara tahap – tahap tersebut secara garis besarnya meliputi :

1. Tahap Studi literatur

Dalam tahap ini adalah proses mencari dan mempelajari tentang jurnal, penelitian, tugas akhir, dan skripsi yang berkaitan dengan judul penelitian yaitu tentang MPPT (*Maximum power point Tracking*) dengan metode algoritma Logika Fuzzy, *boost converter*, dan desain dari penambahan reflektor statis pada panel surya polikristal 50 WP.

2. Tahap Perancangan

Tahap ini berfokus pada perancangan dan desain sebuah panel surya polikristal 50 WP dengan penambahan reflektor statis yang terkoneksi dengan sebuah rangkaian *boost converter* dan Kontrol MPPT dengan metode algoritma logika fuzzy pada arduino yang selanjutnya terhubung pada beban. Tahap perancangan ini juga berkaitan dengan spesifikasi komponen yang akan digunakan seperti analisis perhitungan induktansi, kapasitansi, resistansi, dan lain – lain berdasarkan dari parameter perancangan yang telah ditentukan.

3. Tahap Pengujian alat dan Pembuatan alat

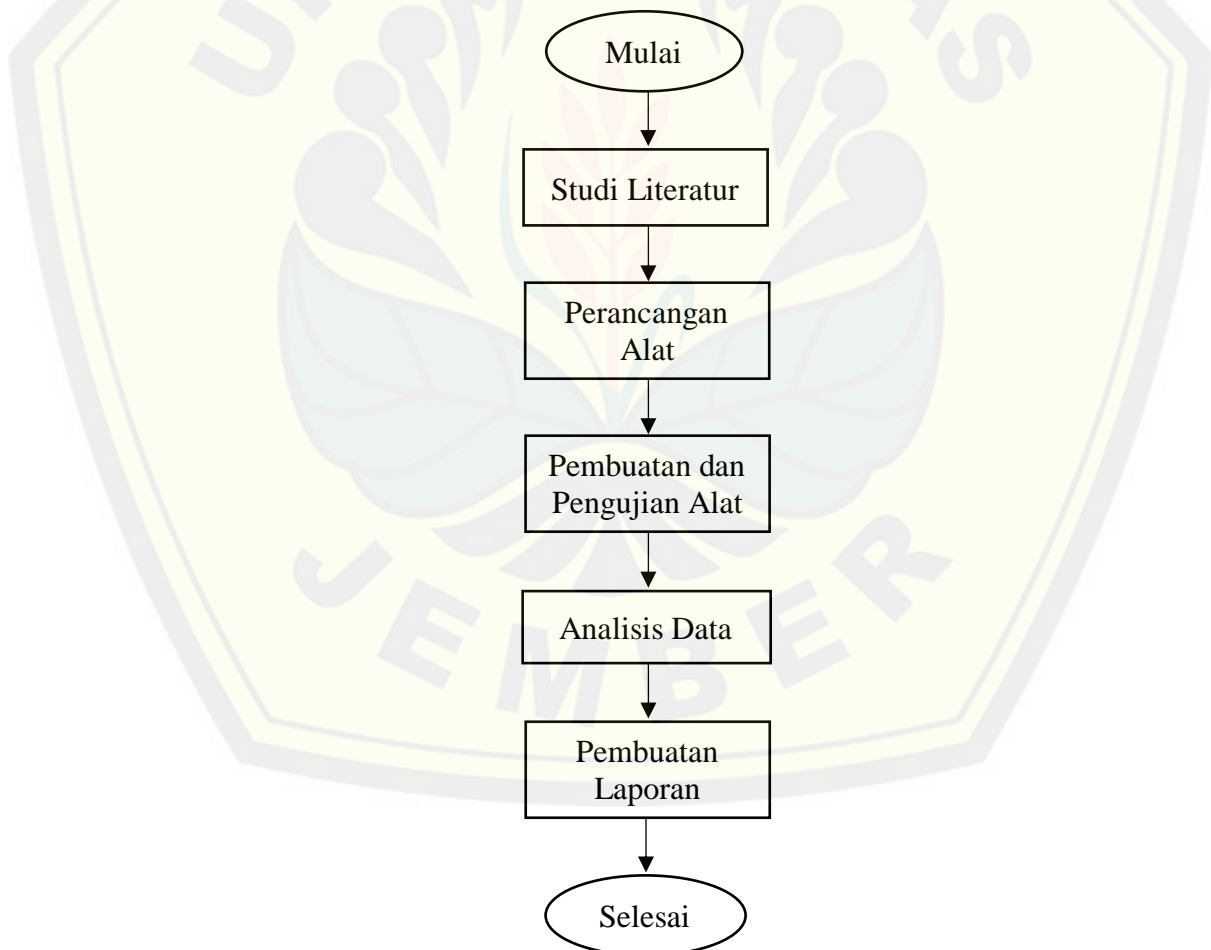
Pada tahap ini merupakan tahap dalam membuat dan menguji alat yang telah dirancang dan dibuat untuk mengetahui apakah alat dapat berfungsi dengan baik.

4. Analisa data

Analisis data dilakukan setelah pada tahap pengujian alat telah berfungsi dengan baik sehingga alat dapat digunakan untuk proses pengambilan data. Kemudian setelah mendapatkan hasil data dari data yang masuk ke dalam data logger dengan membandingkan data hasil keluaran tegangan, arus, dan daya tanpa dan dengan menggunakan *Maximum power point Tracker* metode logika *fuzzy* menggunakan *boost converter* dan reflektor.

5. Pembuatan laporan

Tahap ini adalah tahap penulisan, pembahasan, dan pengambilan kesimpulan dari proses analisis data yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Studi literatur						
2	Perancangan dan pembuatan alat						
3	Pengujian alat						
4	Analisa data						
5	Pembuatan laporan						

3.4 Konsep Pemikiran Penelitian

Konsep dari pemikiran penelitian ini adalah modul panel surya bertipe polikristalin 50 WP yang berefektor cermin cekung pada empat buah sisinya dengan *reflektor* sisi barat dan *reflektor* sisi timur dapat secara otomatis berdasarkan perhitungan sudut yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya menggunakan motor stepper. Sedangkan *reflektor* sisi utara dan *reflektor* sisi selatan dapat diatur secara manual sesuai dengan sudut semu tahunan matahari. Pergerakan sudut dari reflektor ini bergantung dari perubahan daya dan intensitas cahaya matahari yang di terima oleh panel surya pada saat proses *scanning* per-30 menit pada pukul 08.00 – 14.00 WIB.

Pada penelitian sebelumnya penambahan reflektor cermin cekung dilakukan hanya dilakukan untuk memperoleh radiasi maksimal tanpa

mengontrol hasil daya agar tetap mencapai titik maksimalnya, sehingga pada penelitian ini dilakukan penambahan kontrol MPPT berbasis *P&O-Fuzzy* guna mencari dan mempertahankan titik daya maksimal dari hasil radiasi maksimal yang didapat karena penambahan reflektor. Hasil data perhitungan nantinya akan dianalisis apakah penggunaan *scanning reflektor* cermin cekung pada panel dan MPPT dengan metode algoritma *P&O-Fuzzy* dan *boost converter* mempunyai nilai efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa *Maximum power point Tracking* metode algoritma *P&O-Fuzzy* menggunakan *boost converter* dan reflektor cermin cekung.

3.5 Alat dan Bahan

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

3.5.1 Alat

1. Alat las
2. Bor
3. Gerenda potong
4. Obeng
5. Penggaris siku
6. Meteran
7. Tang buaya
8. Tang potong
9. Solder
10. Termometer suhu
11. Digital multimeter
12. *Solar Power Meter*
13. *Lux Meter*
14. Laptop/PC

3.5.2 Bahan

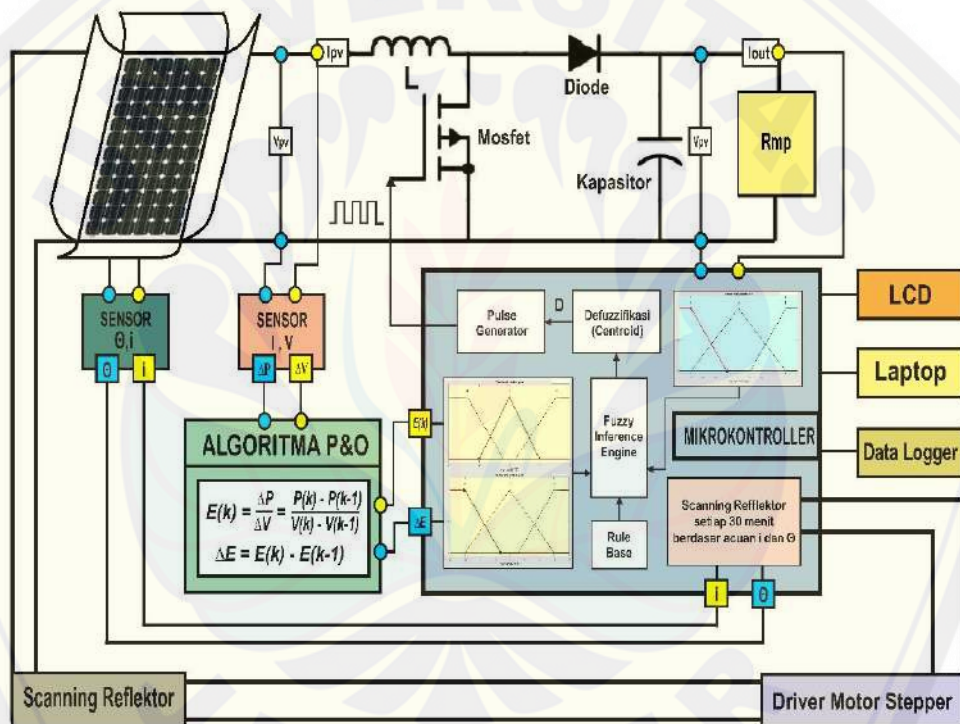
1. Besi penyangga *photovoltaic module*
2. Panel surya 50 WP *polycrystalline*, dengan *spesifikasi* sebagai berikut:

- Merek : GH Solar
 - *Model type* : GH-50p-18
 - *Open circuit voltage* (V_{oc}) : 21,6 V
 - *Short circuit current* (I_{sc}) : 3,25 A
 - *Max power voltage* (V_{pm}) : 17,5 V
 - *Max power current* (I_{pm}) : 2,87 A
 - *Tolerance* : 3%
 - *Test condition* : 1000 V/m², 25⁰C
3. Cermin cekung, dengan *spesifikasi* sebagai berikut:
- Pusat kelengkungan cermin = 27 cm
 - Titik fokus cermin = 13,5 cm
 - Panjang busur cermin = 28,26 cm
4. Resistor
 5. Induktor
 6. Kapasitor
 7. Mosfet
 8. Toroid
 9. Arduino UNO-R3
 10. Sensor arus
 11. Sensor tegangan
 12. *Modul Data logger dan RTC*
 13. Memori *Mikro SD*

3.6 Perancangan Sistem Kerja Penelitian

3.6.1 Diagram Blok Sistem Pengujian

Untuk memudahkan pemahaman bagaimana sistem penelitian ini bekerja, maka diperlukan sebuah blok sistem pengujian. Pada gambar 3.1 dibawah ini terdiri dari panel surya yang telah terpasang reflektor cerming cekung pada keempat sisinya, *boost converter* dengan beban Rmp, sensor, mikrokonntroller arduino yang telah diprogram dengan algoritma *P&O-Fuzzy*, motor stepper, driver motor L298N, dan laptop untuk monitoring data.



Gambar 3.2 Blok diagram Konfigurasi dan implementasi MPPT

Blok diagram yang ditunjukkan gambar 3.1 menunjukkan susunan Blok diagram Konfigurasi *Scanning Reflektor* dan implementasi MPPT algoritma *P&O-Fuzzy* pada penelitian ini. Pada blok diagram tersebut terdapat dua buah sistem pengoptimalan daya yang berjalan sekaligus. Sistem Pertama merupakan sistem optimalisasi daya secara statis. Pada sistem statis ini berfokus pada perbaikan nilai daya yaitu pada keluaran panel surya 50 WP *polycrystalline* yang berupa arus dan tegangan terhubung dengan sensor (sensor arus dan sensor tegangan) yang

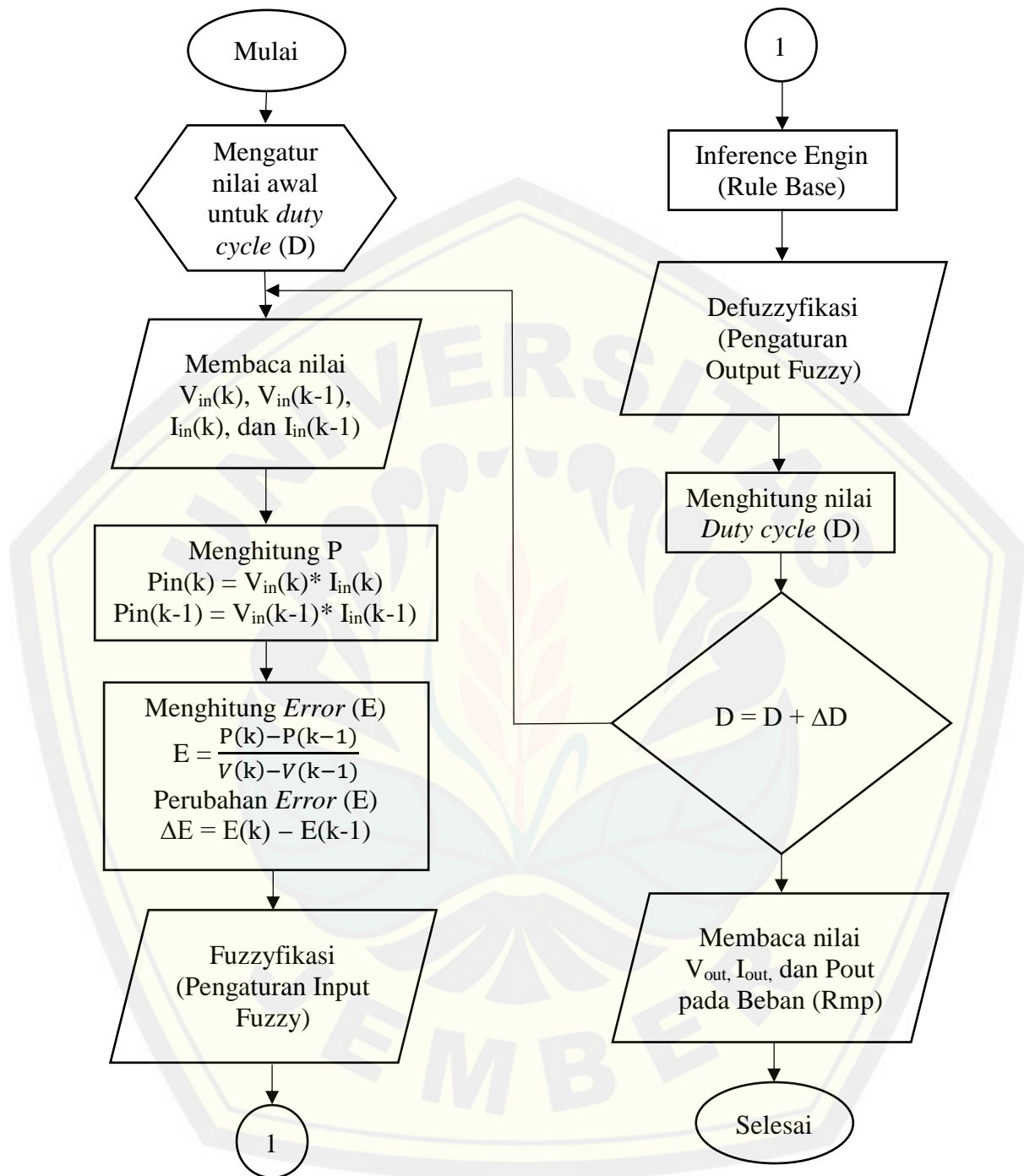
terintegrasi menjadi satu dengan rangkaian *boost converter*. Algoritma MPPT yang digunakan pada penelitian yaitu *Perturb AND Observe* (P&O) sehingga analisa yang digunakan adalah perubahan daya (ΔP) dan perubahan tegangan (ΔV) yang selanjutnya pembagian dari ΔP dengan ΔV disebut dengan *Error*. Titik MPP dapat dicari dan diketahui pada saat *Error* bernilai sama dengan 0. Keluaran algoritma P&O tadi akan menjadi masukan untuk *Fuzzy logic Control* (FLC) yang merupakan nilai *Error* dan *delta Error*. Dua *input fuzzy* tersebut akan diproses sehingga diperoleh keluaran berupa *duty cycle* yang selanjutnya masuk dalam rangkaian *boost converter* sehingga tercapai nilai *Error* sama dengan 0 yang menANDakan sebagai titik MPP berada.

Sistem selanjutnya adalah sistem optimalisasi nilai iradiasi yang dapat ditangkap oleh panel surya dengan penambahan teknologi scanning reflektor cermin cekung. Sistem ini merupakan sistem optimalisasi dinamis karena proses *scanning* menggerakkan reflektor dengan motor stepper. Proses *scanning* reflektor ini hanya berfokus untuk pencarian iradiasi maksimal dari sinar matahari dengan referensi intensitas cahaya (lux) dan sudut gerak reflektor berdasar sudut sinar datang matahari. Pada sistem ini terdapat dua buah sensor yaitu sensor *light meter* (BH1750) dan sensor sudut (Potensiometer). Hasil pembacaan sensor tersebut akan diproses oleh mikrokontroler arduino untuk memilih sudut reflektor dengan intensitas cahaya terbesar. Proses *scanning* reflektor ini dilakukan selama selang waktu 30 menit dari pukul 08.00 – 14.00 WIB.

Dari blok diagram sistem tersebut yang telah dirancang untuk penelitian ini diharapkan mampu memperbaiki daya yang dapat dihasilkan panel surya dengan berbagai perubahan dari iradiasi dan temperatur panel surya.

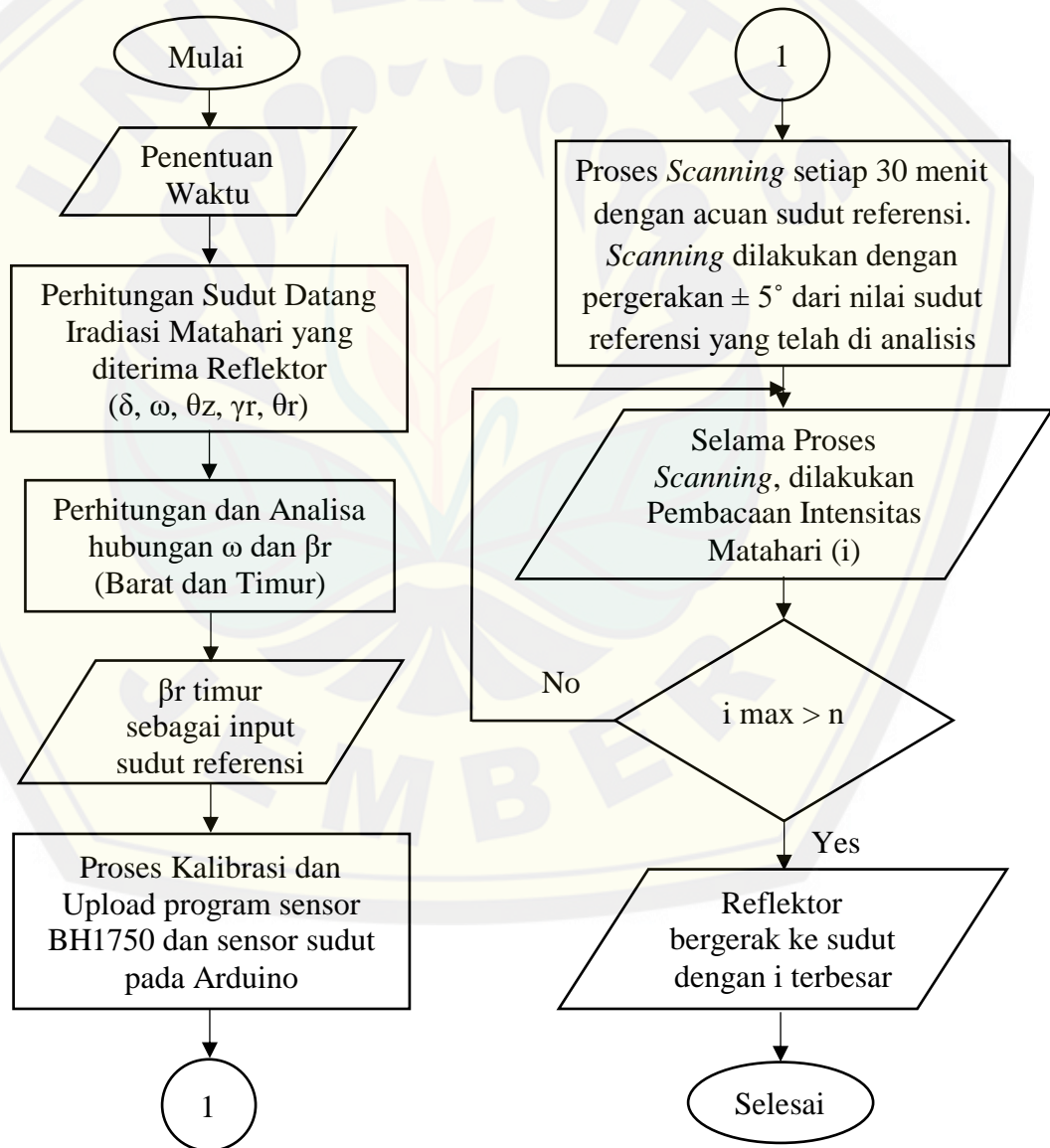
3.6.2 Flowchart

Flowchart atau diagram alir adalah jenis diagram yang mewakili algoritma dan sistem kerja dalam bentuk bagan atau simbol grafis yang disusun secara berurutan dan sistematis dalam setiap prosesnya. Pada penelitian ini terdapat 2 sistem berbeda yang berjalan dengan bersamaan namun dengan daerah kerja yang berbeda. Untuk flowchart pertama yaitu MPPT dengan algoritma *Perturb AND Observe* dengan kontrol logika *fuzzy*.

Gambar 3.3 Flowchart Sistem MPPT berbasis *P&O-Fuzzy*

Dari gambar 3.3 tentang flowchart sistem MPPT di atas sebagai sebuah kontrol untuk mengendalikan nilai *duty cycle* berdasar nilai tegangan dan arus yang bisa dikonversikan panel surya dari iradiansi matahari. Untuk pengaturan nilai *duty*

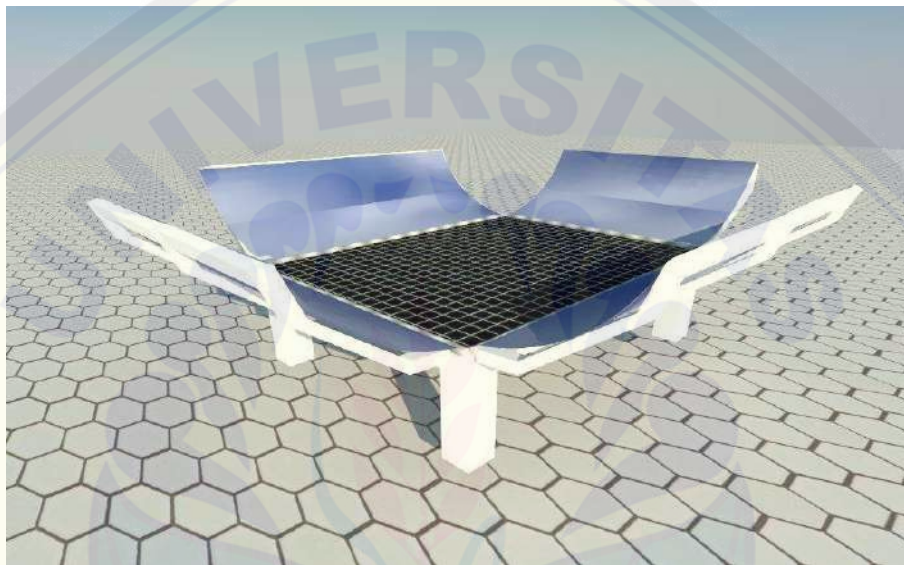
cycle diperlukan sebuah algoritma dan kontrol cerdas sehingga penambahan nilai *duty cycle* diikuti dengan penambahan nilai daya yang semakin meningkat. Kemudian untuk *Flowchart* sistem yang kedua adalah teknologi *scanning* reflektor cermin cekung yang digunakan sebagai optimalisasi secara dinamis untuk menambahkan nilai iradiasi matahari dari pantulan reflektor ke permukaan panel surya. Sistem ini bekerja dengan menggerakkan reflektor cermin cekung pada kedua sisi panel yaitu pada sisi barat dan sisi timur dengan pergerakan setiap 30 menit. *Scanning* ini juga berdasarkan referensi sudut datang matahari dan jumlah intensitas cahaya yang dibaca oleh sensor. Berikut adalah *flowchart* sistem.



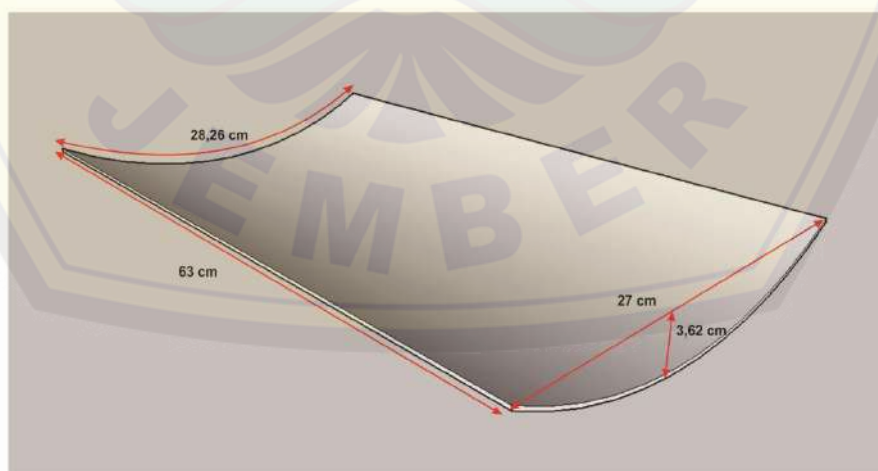
Gambar 3.4 *Flowchart* sistem *Scanning* Reflektor Cermin Cekung

3.7 Desain Alat

Pada gambar 3.5 menjelaskan gambar desain modul surya dengan reflektor cermin cekung pada ke-empat buah sisi. Pada keempat reflektor didesain dengan menggunakan poros engsel pada setiap perpotongan cermin dengan modul surya, pada ke-empat sisi tersebut dapat diatur secara manual sesuai dengan sudut semu tahunan matahari.



Gambar 3.5 Desain Modul Panel Surya dan Penempatan Cermin cekung



Gambar 3.6 Desain Reflektor Cermin Cekung

3.8 Desain Sistem Kontrol MPPT

MPPT terdiri dari dua permasalahan yang harus ditangani. Permasalahan pertama adalah untuk menentukan MPP dari berbagai level irradiasi matahari dan sebagai target pelacakan daya maksimum. Modul PV menerima *solar irradiance* berbeda - beda maka akan menghasilkan titik daya puncak yang berbeda dan titik daya tersebut digunakan sebagai acuan nilai-nilai daya maksimum. Bagian kedua dari masalah ini adalah masalah pengendalian yaitu untuk mengoperasikan modul PV di MPP dengan mengontrol pensaklaran *boost converter* oleh FLC dengan *duty cycle* yang sesuai untuk menghasilkan daya yang mendekati titik daya puncak.

3.8.1 Analisis Perhitungan Komponen *Boost Konverter*

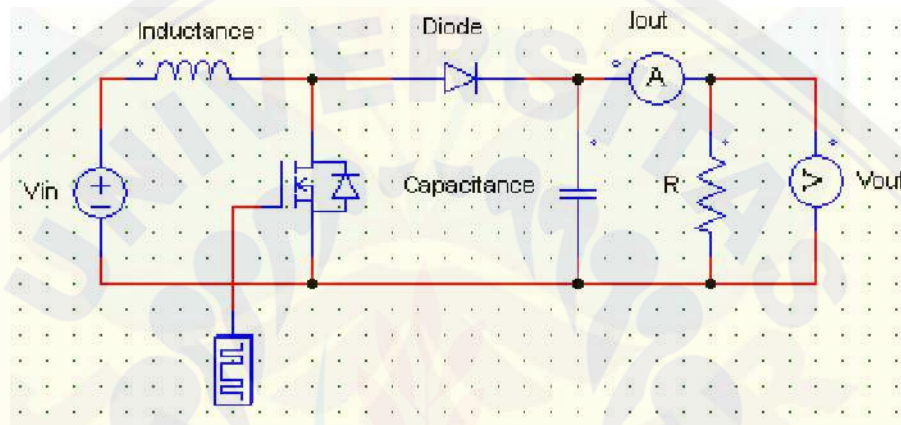
Boost converter terdiri dari induktor, dioda, kapasitor dan komponen pensaklar. *Boost converter* bekerja berdasarkan sinyal pensaklaran, ton dan toff. Perbandingan waktu hidup (ton) terhadap jumlah waktu keduanya disebut juga dengan *duty cycle*. Saat saklar hidup (*on*), energi disimpan pada induktor menjadi medan magnet, saat saklar mati (*off*), energi yang tersimpan pada induktor diubah lagi menjadi listrik dan didorong oleh tegangan *input* menjadi tegangan *output* sehingga nilainya menjadi lebih besar. Rangkaian penyulut pada *converter* dc ke dc mode pensaklaran (*switching mode*) sudah banyak digunakan dalam bentuk rangkaian terintegrasi (IC).

Tabel 3.2 Data spesifikasi panel surya GH-50p-18

Parameter	Spesifikasi
Merk AND Model Type	GH Solar AND GH-50p-18
Open – circuit voltage (V_{oc})	21,6 V
Short – circuit current (I_{sc})	3,25 A
Voltage at Pmax (V_{mp})	17,5 V
Current at Pmax (I_{mp})	2,87 A
Rate Maximum Power (PM)	50 W
Tolerance	3%
Test Condition	1000 V/m ² , 25 ⁰ C

Tabel 3.3 Parameter DC – DC *boost converter*

Parameter	Spesifikasi
Tegangan masukan	15 – 17,5 V
Tegangan keluaran	17,5 V
Arus keluaran	0,5 – 2,85 A
Frekuensi switching	31 kHz

Gambar 3.7 Skema rangkaian DC – DC *boost converter*

Dalam perancangan *boost converter* dibutuhkan perhitungan untuk mencari nilai *duty cycle*, nilai resistansi, kapasitansi, induktansi, mosfet dan jumlah lilitan. Untuk menentukan nilai – nilai tersebut digunakan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Perhitungan *duty cycle*

$$D_{min} = 1 - \frac{V_{max}}{V_O} = 1 - \frac{18}{24} = 0,25 = 25\%$$

$$D_{max} = 1 - \frac{V_{min}}{V_O} = 1 - \frac{16}{24} = 0,625 = 62,5\%$$

2. Perhitungan resistansi

Menentukan besarnya resistansi yang digunakan sebagai beban yang akan terhubung dengan konverter

$$R_{Lmin} = \frac{V_O}{I_{Omax}} = \frac{24}{3} = 8 \Omega$$

$$R_{Lmax} = \frac{V_O}{I_{Omin}} = \frac{24}{0,2} = 120 \Omega$$

3. Perhitungan Induktor

Setelah diketahui nilai pada *duty cycle*, selanjutnya adalah mencari nilai induktansi, besarnya induktansi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah :

- Induktansi

$$L_{min} = \frac{R_{Lmax} D_{min}(1 - D_{min})^2}{2f_s} = \frac{120 * 0,25(1 - 0,25)^2}{2 * 200000} = 4,2 * 10^{-5} H$$

- Arus *ripple*

$$\Delta i_{Lmax} = \frac{V_O D_{min}(1 - D_{min})^2}{f_s L} = \frac{24 * 0,25(1 - 0,25)^2}{200000 * 0,000042} = \frac{3,375}{8,4375} = 0,4 A$$

- Arus *rms*

$$I_{Lrms} \approx I_{Lmax} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{max}} = \frac{3}{1 - 0,625} = 8 A$$

Setelah nilai induktansi, arus *ripple* dan arus maksimum yang ada pada induktor telah diketahui, langkah selanjutnya adalah menghitung jumlah lilitan, pada penelitian ini jenis konduktor yang digunakan yaitu *torroidal core inductor* atau inti yang berbentuk O ring (bentuk donat) dengan nilai $AL = 500 \mu H/100 \text{ turn}$ Sodial toroid core.

4. Perhitungan Jumlah lilitan

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

$$N = 100 \sqrt{\frac{42}{500}}$$

$$N = 29 \text{ lilitan}$$

5. Perhitungan dan pemilihan jenis MOSFET

- Arus *switching* MOSFET

$$\begin{aligned} I_{SMmin} = I_{DMmax} &= \frac{I_{Omax}}{1 - D_{min}} + \frac{V_O D_{max}(1 - D_{min})}{2f_s L} \\ &= \frac{3}{1 - 0,25} + \frac{24 * 0,625 (1 - 0,25)}{2 * 200000 * 4,2 * 10^{-5}} = 4,67 A \end{aligned}$$

- Arus rms

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{D_{max}} I_{Omax}}{1 - D_{max}} = \frac{\sqrt{0,625} * 3}{1 - 0,625} = \frac{3,2}{0,375} = 8,533 \text{ A}$$

Dengan data seperti yang ditunjukkan dalam perhitungan yang tertera diatas maka digunakan MOSFET dengan tipe

6. Perhitungan Kapasitor

- Tegangan ripple

$$V_r = 0,01 * V_O = 0,01 * 24 = 0,24 \text{ Volt}$$

- ESR maksimum

$$V_{rcpp} = V_{cyp} = \frac{V_r}{2} = \frac{0,24}{2} = 0,12 \text{ Volt}$$

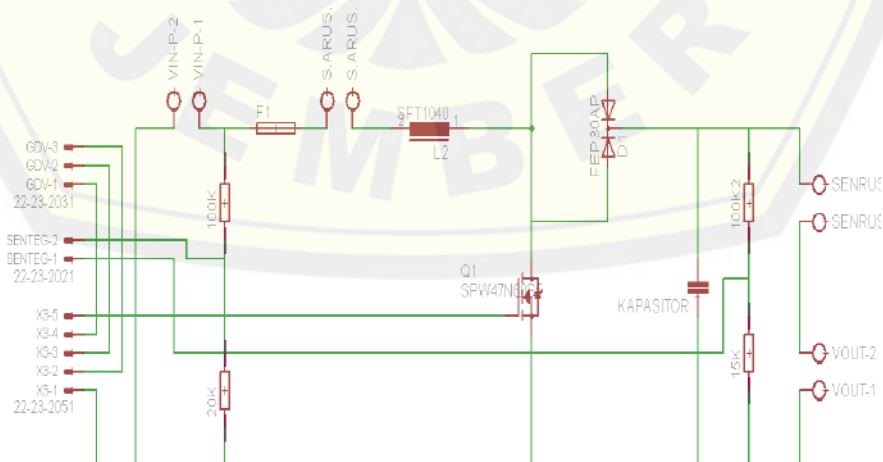
$$r_{Ccpp} = \frac{V_r}{2} = \frac{0,12}{2} = 0,06 \Omega$$

- Sehingga didapatkan nilai dari kapasitor minimum yang akan digunakan pada *boost converter*

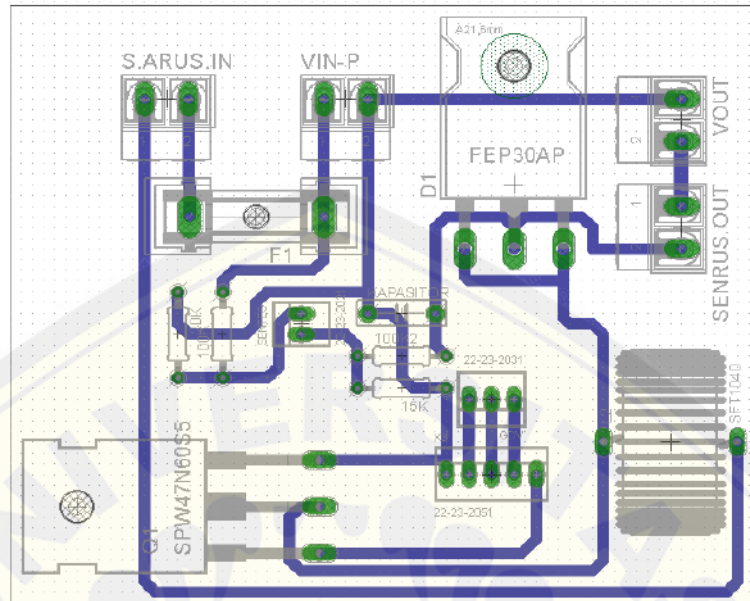
$$C_{min} = \frac{D_{max} * V_O}{f_s R_{Lmin} V_{rcpp}} = \frac{0,625 * 24}{200000 * 8 * 0,12} = 3,125 * 10^{-4} \text{ F}$$

3.8.2 Desain Perancangan dan skematik rangkaian *Boost Konverter* dan *Kontroller Arduino*

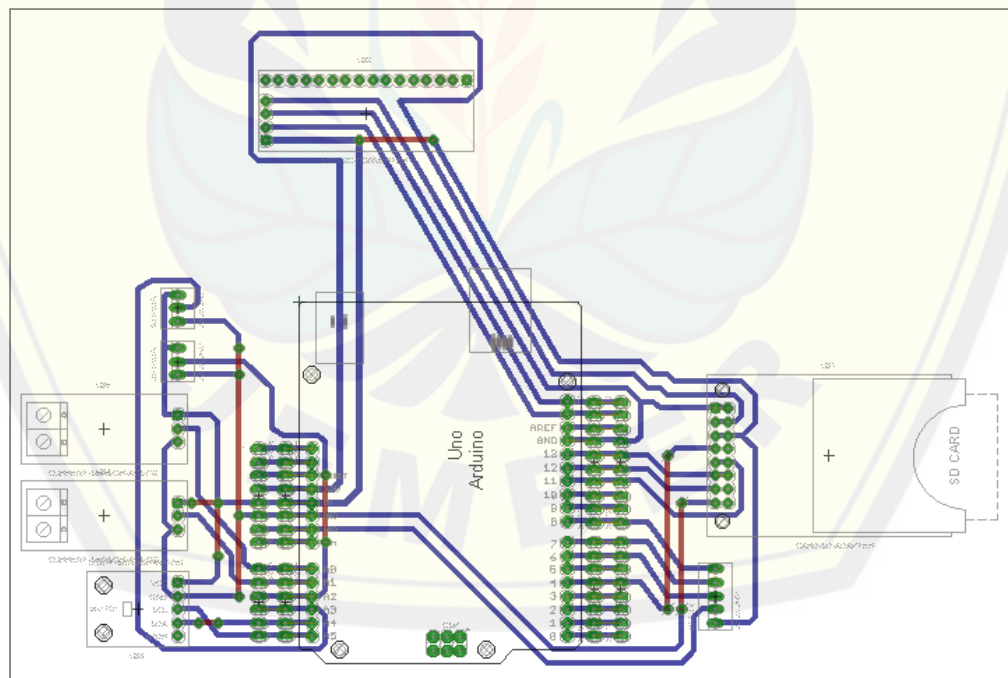
Berikut adalah gambar rancangan *boost converter* pada software eagle, perancangan ini nantinya akan dijadikan bentuk skema rangkaian.



Gambar 3.8 Perancangan rangkaian DC – DC *boost converter* di Eagle



Gambar 3.9 Skema rangkaian DC – DC boost converter di Eagle



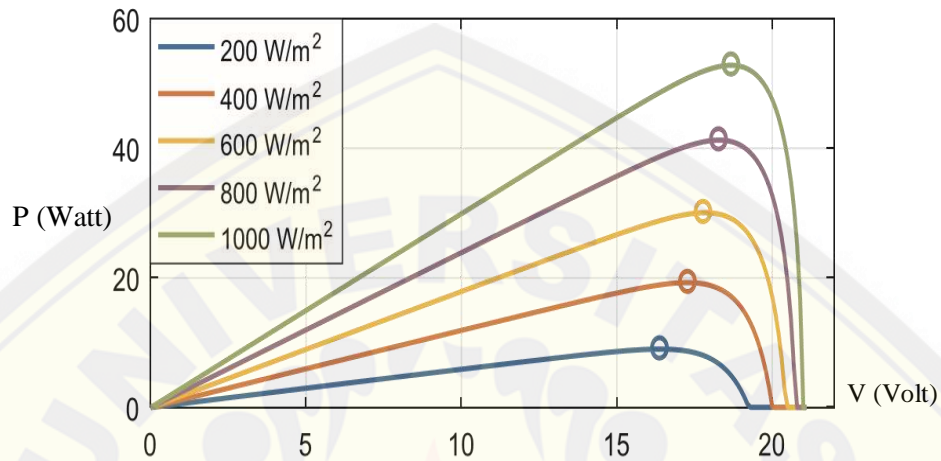
Gambar 3.10 Skema rangkaian sensor, LCD, RTC, data logger pada Mikrokontroller Arduinodi Eagle

3.8.3 Perancangan *Fuzzy logic Control* (FLC)

Logika *fuzzy* adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelegant*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. *Fuzzy logic Control* (FLC) diimplimentasikan untuk membantu teknik MPPT konvensional untuk mendapatkan titik daya operasi *Maximum power point* (MPP) lebih cepat dan juga dapat diminimalkan fluktuasi daya setelah MPP telah dikenal. Proses kontrol cerdas *fuzzy* ini dalam pengaplikasiannya dibutuhkan sebuah algoritma untuk memudahkan proses analisa dan pencarian daya maksimal. Sebuah algoritma *Perturb AND Observe* (P&O) digunakan sebagai dasar dalam pencarian daya maksimal, tetapi algoritma (P&O) memiliki kekurangan yaitu terjadi osilasi pada saat steady state dan kesalahan penelusuran MPP ketika iradiasi berubah secara cepat, sehingga perlu adanya sistem kontrol yang cerdas dan cepat dalam merespon setiap perubahan iradiasi. Untuk mengatasi persoalan tersebut, pada penelitian algoritma (P&O) ditambahkan sebuah kontrol cerdas berupa *Fuzzy logic* untuk memberikan respon keputusan yang baik dan diharapkan mampu memberikan hasil pencarian titik daya maksimum yang optimal dan cepat dalam menangani perubahan iradiansi. Nilai Pmax (Daya maksimal) berubah – rubah berdasar nilai dari iradiasi matahari yang diterima oleh panel surya. Semakin besar nilai iradiasi maka nilai Pm juga akan semakin besar mengikuti perubahan nilai iradiasi. Perubahan nilai iradiasi matahari tidak bisa diprediksi dan diatur, sehingga diperlukannnya sistem pencarian daya maksimum dengan menyesuaikan perubahan iradiasi yang diterima panel surya, sistem ini kemudian dikenal dengan MPPT (*Maximum power point Tracking*).

Panel surya yang digunakan pada penelitian ini berjenis Polycrystalline GH-50P-18 yang memiliki kriteria Pm (maximum power) sebesar 50 Watt, Vmp sebesar 17,5 volt, Imp sebesar 2,87 A, Voc sebesar 21,6 volt, dan Isc sebesar 3,25 A. Spesifikasi tersebut digunakan sebagai acuan perancangan untuk *input* pada kontrol logika *fuzzy*. Dari spesifikasi tersebut dapat dibuat grafik perbandingan daya dan tegangan (P-V) dari berbagai variasi iradiasi cahaya matahari (ΔG) sebesar 200 W/m² dengan iradiasi maksimal matahari sebesar 1000 W/m². Pada spesifikasi yang

telah dijelaskan sebelumnya, nilai P_m (sebesar 50 watt dapat dihasilkan oleh panel surya ketika nilai iradiasi mencapai nilai maksimal yaitu sebesar 1000 W/m^2 . Grafik P–V dengan berbagai variasi iradiasi ditunjukkan pada gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Grafik P–V dengan berbagai variasi iradiasi (ΔG) = 200 W/m^2

Dari grafik tersebut dapat diketahui P_{max} (daya maksimal) pada setiap variasi iradiasi berada pada puncak grafik hubungan P – V. Nilai P_{max} dapat diketahui nilainya dengan rumus perbandingan antara Radiasi dan Daya panel surya. Berikut adalah perhitungan nilai P_{max} dengan berbagai macam / perubahan iradiasi (ΔG).

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

- Saat Iradiasi sebesar 200 W/m^2

$$P_{max} = \frac{G}{1000} \times P_m = \frac{200}{1000} \times 50 = 10 \text{ Watt}$$

- Saat Iradiasi sebesar 400 W/m^2

$$P_{max} = \frac{G}{1000} \times P_m = \frac{400}{1000} \times 50 = 20 \text{ Watt}$$

- Saat Iradiasi sebesar 600 W/m^2

$$P_{max} = \frac{G}{1000} \times P_m = \frac{600}{1000} \times 50 = 30 \text{ Watt}$$

- Saat Iradiasi sebesar 800 W/m^2

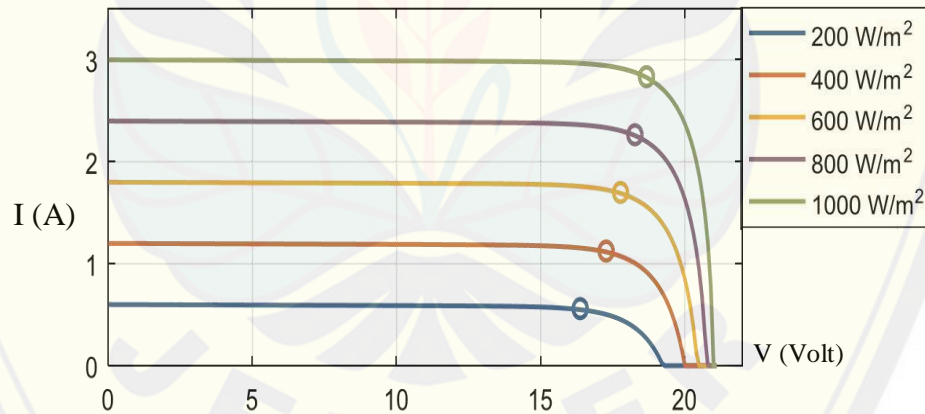
$$P_{max} = \frac{G}{1000} \times P_m = \frac{800}{1000} \times 50 = 40 \text{ Watt}$$

- Saat Iradiasi sebesar 1000 W/m^2

$$P_{max} = \frac{G}{1000} \times P_m = \frac{1000}{1000} \times 50 = 50 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada setiap perubahan iradiasi (ΔG) sebesar 200 W/m^2 maka akan diketahui perubahan daya (ΔG) sebesar 10 watt . Dari nilai perubahan iradiasi tersebut dapat diwakilkan dengan perubahan daya, sehingga nilai *input* untuk proses *fuzzyfikasi* yang berupa iradiasi dapat diwakilkan oleh perubahan daya yang dihasilkan dari perubahan nilai iradiasi.

Pada grafik hubungan I – V panel surya juga dapat diketahui pengaruh nilai iradiasi (G) pada perubahan nilai arus yang dihasilkan pada setiap perubahan iradiasi (ΔG). Pada gambar 3.12 dibawah ini nilai iradiasi berpengaruh terhadap nilai tegangan dan arus yang dihasilkan.



Gambar 3.12 Grafik I–V dengan berbagai variasi iradiasi (ΔG) = 200 W/m^2

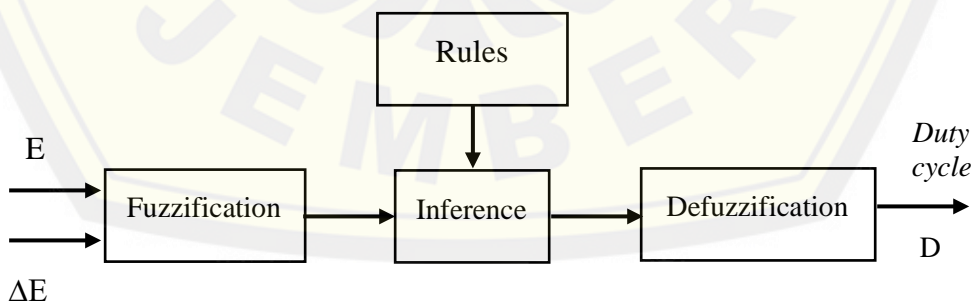
Dari grafik perubahan tersebut diketahui perubahan iradiasi berpengaruh besar terhadap perubahan nilai arus yang dihasilkan, sehingga dapat dilakukan perhitungan nilai P_{max} dari hubungan perubahan iradiasi (ΔG) dengan perubahan arus (dI). Perhitungan hubungan nilai arus dan tegangan dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut.

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

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

- Saat Perubahan Iradiasi (ΔG) = 200 W/m²
 $dI = \frac{\Delta G}{1000} (Imp) = \frac{200}{1000} (2,87) = 0,574 A$
- Saat Perubahan Iradiasi (ΔG) = 100 W/m²
 $dI = \frac{\Delta G}{1000} (Imp) = \frac{100}{1000} (2,87) = 0,287 A$
- Saat Perubahan Iradiasi (ΔG) = 10 W/m²
 $dI = \frac{\Delta G}{1000} (Imp) = \frac{100}{1000} (2,87) = 0,0287 A = 28,7 mA$

Dari nilai perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada setiap perubahan iradiasi (ΔG) sebesar 200 W/m² terjadi perubahan arus sebesar 0,574 A. Pada saat perubahan iradiasi (ΔG) sebesar 100 W/m² ditunjukkan dengan perubahan arus sebesar 0,287 A, dan ketika ΔG sebesar 10 W/m² maka arus yang berubah akibat perubahan radiasi tersebut sebesar 28,7 mA. Blok diagram kerja Logika *Fuzzy* seperti pada gambar 3.13 berikut.

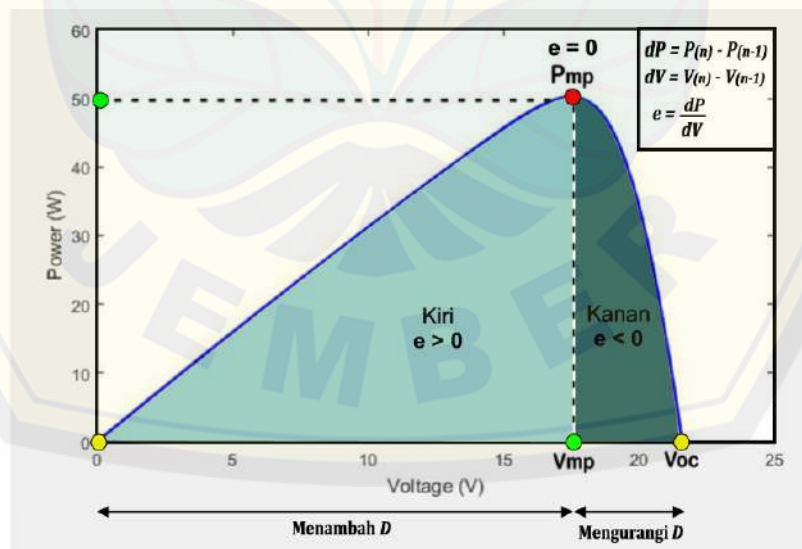


Gambar 3.13 Blok diagram *Fuzzy logic Control* (FLC)

❖ Proses *Fuzzyfikasi*

Pada tahap ini adalah tahapan awal dalam perancangan kontrol pencarian titik daya maksimal, dimana pada tahap ini adalah proses untuk merubah data numerik yaitu pembacaan sensor arus dan sensor tegangan pada sisi *output boost converter* menjadi data – data *fuzzy* untuk proses pengolahan lebih lanjut. Sensor tegangan dan arus ini akan dikalikan sehingga menjadi daya, algoritma (P&O) yang digunakan pada penelitian ini adalah untuk menganalisis perubahan daya (ΔP) dan perubahan tegangan (ΔV) untuk mencari dan mendapatkan nilai P_{max} (Daya Maksimum) pada berbagai intensitas iradiasi yang diterima panel surya.

Perhitungan terhadap hubungan Perubahan Iradiasi (ΔG) terhadap perubahan daya (ΔP) dan perubahan tegangan (ΔV) menjadi dasar untuk penentuan fungsi keanggotaan pada *fuzzyfikasi*. Algoritma P&O memiliki kelebihan yaitu selain murah juga memiliki tingkat kerumitan lebih rendah sehingga lebih mudah untuk diimplementasikan. Algoritma P&O diadaptasi dari hubungan grafik Daya terhadap Tegangan pada karakteristik panel surya dengan variasi nilai iradiasi. Daerah kerja MPPT ditunjukkan pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Daerah kerja MPPT

Pada gambar 3.14 merupakan grafik bagaimana sistem MPPT bekerja dengan algoritma *Perturb AND Observe* (P&O) untuk mencari titik nilai daya

maksimum (MPP). MPPT dengan algoritma *P&O-Fuzzy* merupakan modifikasi algoritma P&O konvensional dengan menambahkan logika *fuzzy* sebagai kontrol cerdas pada variabel *Error* dan *deltaError* di dalam algoritma yang dibuat.

Dari grafik tersebut juga diketahui bahwa MPP dapat dicari dengan kriteria nilai *Error* harus bernilai 0, nilai *Error* dapat diketahui dengan pembagian nilai dari perubahan daya (ΔP) dan perubahan tegangan (ΔV). Untuk memudahkan pencarian titik MPP, maka pada grafik dibagi dalam dua daerah kerja dengan menarik garis vertikal lurus dari titik MPP ke bagian garis horizontal (V), dari penarikan garis lurus tersebut maka titik yang menyentuh sumbu horizontal tersebut adalah nilai V_{mp} (V maximum Power). Pada saat *Error* lebih besar daripada 0 (*Error* bernilai positif) yaitu sisi sebelah kiri dari MPP, maka untuk mendapatkan nilai MPP dilakukan penambahan nilai *duty cycle*. Sebaliknya jika *Error* lebih kecil daripada 0 (*Error* bernilai negatif) yaitu sisi sebelah kanan dari MPP, maka untuk mendapatkan nilai MPP dilakukan pengurangan nilai *duty cycle*. Permodelan sistem logika *fuzzy* yang digunakan adalah sistem *fuzzy* menggunakan metode Mamdani. Sistem *fuzzy* yang dibangun terdiri dari dua variabel *input* yaitu *Error* (e) dan *deltaError* (de) serta menghasilkan satu keluaran nilai *crisp* yang mengatur *increment duty cycle* (I) sinyal *PWM* yang dibangkitkan mikrokontroler.

Penentuan untuk jumlah *membership function* pada *input* dan *output fuzzy* yaitu berdasarkan pendekatan terhadap 3 titik kerja atau kondisi pada algoritma *Perturb AND Observe*. Pada gambar 3.13 Terdapat 3 jenis titik yang berada pada 3 posisi, disebelah kiri puncak $dP/dV > 0$, dipuncak kurva $dP/dV = 0$, dan di sebelah kanan puncak $dP/dV < 0$. Di sebelah kiri dari MPP perubahan daya terhadap perubahan tegangan $dP/dV > 0$, sementara di sebelah kanan MPP perubahan daya terhadap perubahan tegangan $dP/dV < 0$. Jika tegangan kerja sel surya diganggu (perturbed) dan berada pada $dP/dV > 0$, hal tersebut diketahui bahwa gangguan (perturbation) dilakukan untuk memindahkan tegangan kerja sel surya maju ke arah MPP. Apabila $dP/dV < 0$ akan mengakibatkan perubahan titik kerja mengarahkan sel surya jauh dari MPP, maka algoritma *Perturb And Observe* membalik arah gangguan (Rusminto Tjatur Widodo,

2010). Sehingga dari 3 titik kerja pada algoritma tersebut dibuat 3 buah *membership function* pada *input* dan *output* untuk mempermudah kerja kontrol pencarian daya maksimal.

Penentuan nilai atau range untuk fungsi keanggotaan *input* logika *fuzzy* berdasarkan sistem yang akan dirancang. Sebelumnya telah dijelaskan parameter yang akan digunakan sebagai *input* dari logika *fuzzy*, maka selanjutnya adalah perhitungan untuk menentukan nilai atau range dari *input* dan *output fuzzy logic*.

Tabel 3.4 Algoritma MPPT Perturb And Observe

dP	dV	Respon Duty cycle
Positif	Positif	Positif
Positif	Negatif	Negatif
Negatif	Positif	Negatif
Positif	Positif	Positif

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

- Diketahui Spesifikasi Panel : $P_m = 50 \text{ Watt}$ ($G = 1000 \text{ W/m}^2$)
 $V_{mp} = 17,5 \text{ Volt}$
- Pada saat $E > 0$, (bernilai positif dan berada di sebelah kiri dari titik MPP)

$$\Delta P = P_m - 0 = 50 - 0 = 50 \text{ Watt}$$

$$\Delta V = V_{mp} - 0 = 17,5 - 0 = 17,5 \text{ Watt}$$

$$E_{max} = \frac{\Delta P_m}{\Delta V_{mp}} = \frac{50}{17,5} = 2,86$$

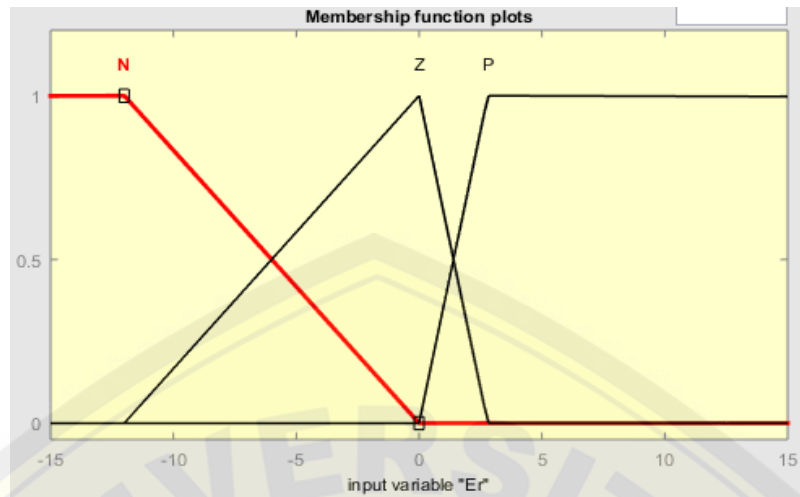
- Pada saat $E < 0$, (bernilai negatif dan berada di sebelah kanan titik MPP)

$$\Delta P = P_m - 0 = 50 - 0 = 50 \text{ Watt}$$

$$\Delta V = V_{oc} - V_{mp} = 21,6 - 17,5 = 4,1 \text{ Watt}$$

$$E_{min} = - \frac{P_m}{V_{oc}} = \frac{50}{4,1} = - 12,2$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui untuk range nilai dari fungsi keanggotaan nilai *input Error* yaitu berada pada range nilai -12,1 sampai dengan 2,86. Berikut adalah hasil perancangan *membership function Error*.

Gambar 3.15 *Membership function Error (E)*

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

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

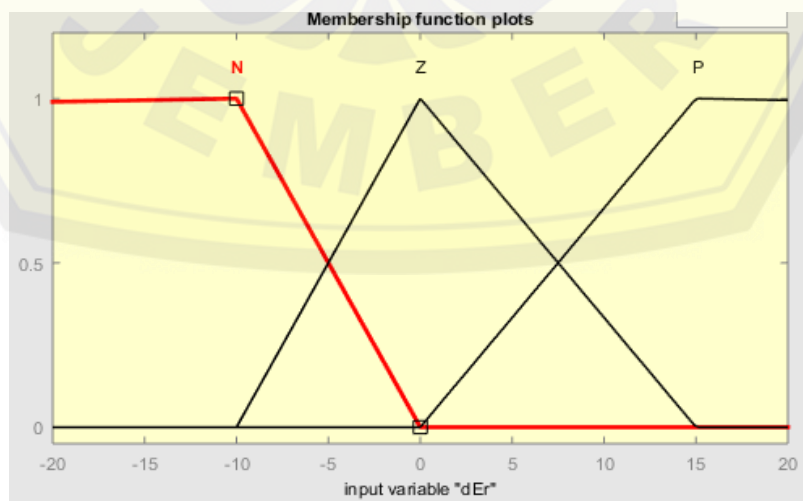
- Pada saat $E > 0$, (bernilai positif dan berada di sebelah kiri dari titik MPP)

$$\Delta E \text{ max} = E(k) - E(k - 1) = 2,86 - (-12,2) = 15,06$$

- Pada saat $E < 0$, (bernilai negatif dan berada di sebelah kanan titik MPP)

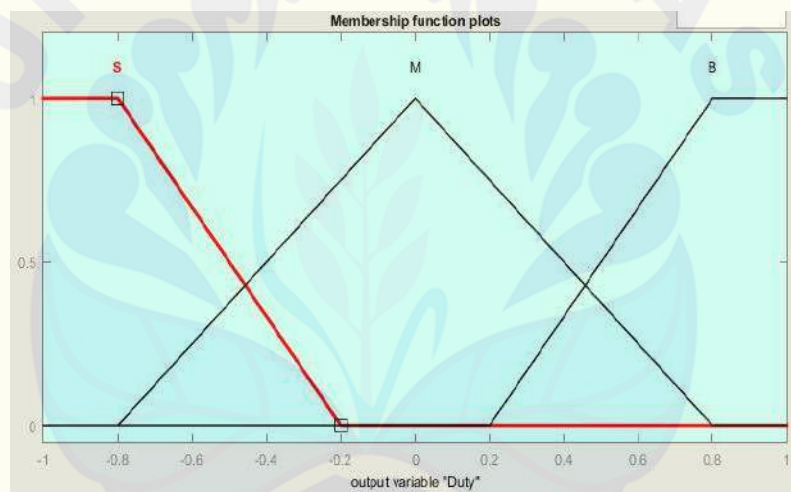
$$\Delta E \text{ min} = E(k) - (-E(k - 1)) = 2,86 - (12,2) = -9,34$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui untuk range nilai dari fungsi keanggotaan nilai *input* Delta *Error* yaitu berada pada range nilai -9,34 sampai dengan 15,06. Berikut adalah hasil perancangan *membership function* Delta *Error*

Gambar 3.16 *membership function Delta Error (ΔE)*

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

Perancangan *membership function* nilai *output* yang digunakan sebagai kontrol *fuzzy*. Range nilai dari -1 sampai 1 dengan dibagi menjadi 3 kurva yaitu yaitu N (Negatif), Z (Zero), P (Positif). Nilai -1 sampai dengan 1 ini selanjutnya akan di *map* menjadi nilai *PWM* yang disesuaikan pada kontrol yang akan diterapkan. Nilai *output duty cycle* ini digunakan sebagai acuan kontrol pada mikrokontroler arduino untuk memberikan nilai *duty cycle* secara otomatis berdasarkan nilai *Error* dan *delta Error* pada *input* untuk mendapatkan nilai *MPP* (*maximum power point*) yang dapat dihasilkan panel surya. Berikut adalah gambar perancangan *membership function* pada *output fuzzy*.



Gambar 3.17 *membership function Duty cycle (D)*

❖ **Proses Inferensi**

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

Tabel 3.5 *Rule Base* pada *Fuzzy logic*

E / ΔE	N	Z	P
N	S	S	M
Z	S	M	B
P	M	B	B

Proses selanjutnya yaitu mengumpulkan semua nilai derajat keanggotaan yang telah diketahui dari perhitungan pada *fuzzifikasi* untuk proses inferensi yang disesuaikan dengan *Rule Base* yang telah ditentukan pada tabel 3.4. berikut adalah nilai derajat keanggotaan yang telah dihitung pada proses *fuzzifikasi*. Tahap berikutnya adalah memasukkan nilai derajat keanggotaan pada setiap *Rule Base* yang telah dibuat. Pada tabel 3.4 terdapat 9 *Rule Base* yang diimplementasikan pada sistem *fuzzy* ini.

Pada sistem *Rule Base* yang telah dirancang, digunakan fungsi *AND* (\cap) sebagai ketentuan pemilihan nilai pada kedua *input*. Untuk penggunaan fungsi *AND* maka kriteria nilai yang akan dipilih yaitu MIN (nilai terkecil yang akan dipilih sebagai acuan). Nilai alpha yang tidak sama dengan 0 akan diproses dengan cara menarik nilai – nilai tersebut ke fungsi keanggotaan *output* sesuai dengan aturan (*Rule Base*) yang telah ditetapkan. Berikut adalah nilai alpha yang memiliki nilai tidak sama dengan 0.

❖ Tahap defuzzifikasi

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

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

- Perhitungan Luas daerah pada setiap daerah implikasi

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

- Perhitungan Momen pada setiap daerah implikasi

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

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

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

BAB 5 PENUTUP

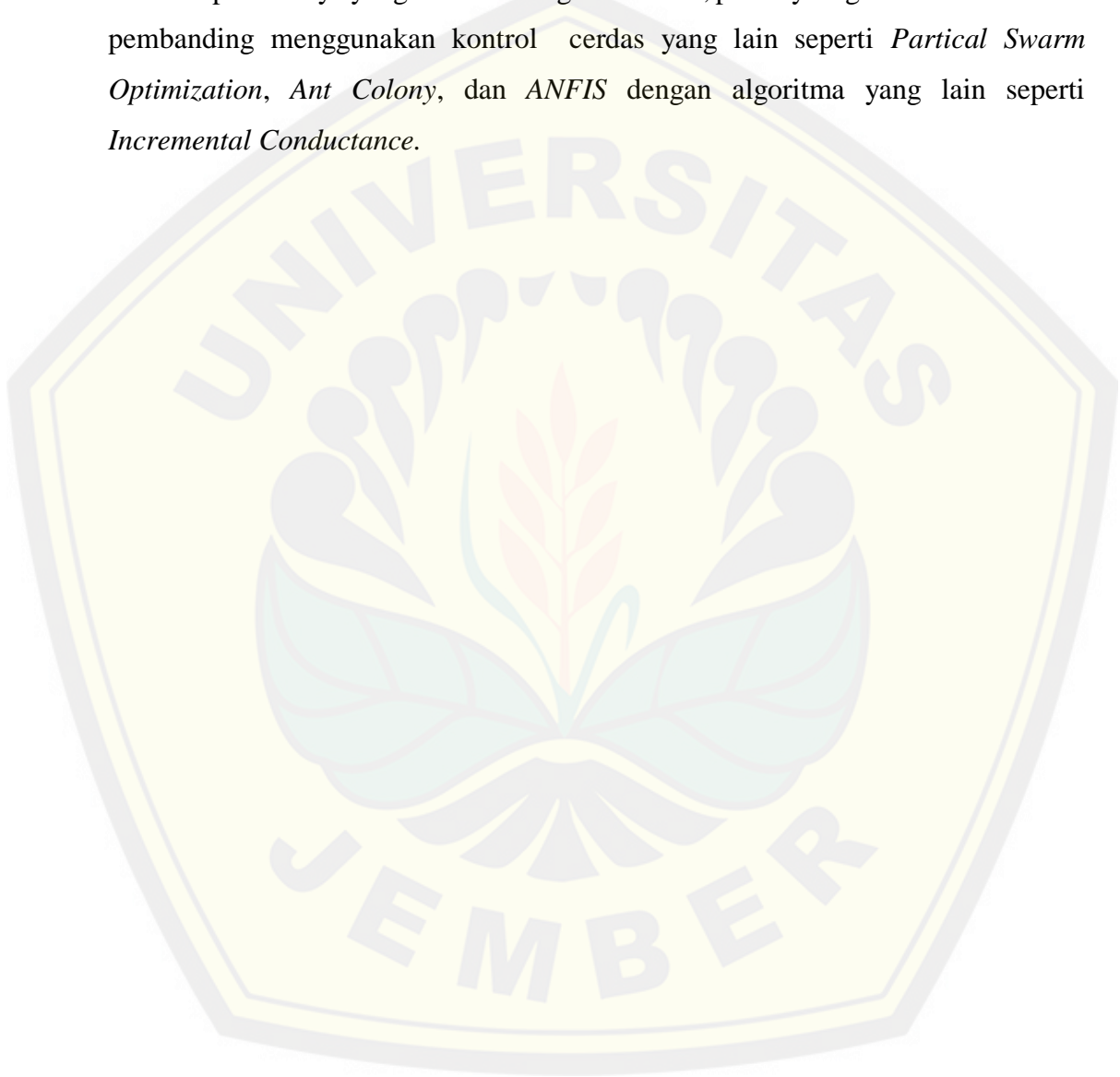
5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “*Maximum Power Point Tracking* Berbasis Logika Fuzzy Pada Panel Surya Bereflektor Cermin Cekung” dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penggunaan *scanning reflektor* cermin cekung pada penelitian ini adalah untuk optimalisasi nilai iradiasi sehingga nilai daya juga optimal, pergerakan *reflektor* menyesuaikan titik optimum intensitas cahaya matahari yang didapat selama proses *scanning* dengan referensi sudut pergerakan reflektor. Pada pengambilan data pada tanggal 30 Juni 2019 pukul 08.00 WIB didapat nilai efisiensi sebesar 20,29% pada penggunaan *scanning reflektor*, dan 16,74% tanpa penggunaan *scanning reflektor*.
2. Perbandingan hasil *scanning reflektor* dan reflektor statis pada pengujian tanggal 5 Agustus 2019 pada saat pukul 08.00 WIB, pada saat penggunaan reflektor statis dengan sudut sebesar 70° diperoleh hasil daya sebesar 17,80 Watt dan efisiensi sebesar 10,10%. Pada saat penggunaan *scanning* reflektor dengan sudut sebesar 37° dengan pembacaan hasil intensitas cahaya matahari terbesar selama proses *scanning*, maka diperoleh daya dan efisiensi masing – masing sebesar 21,90 Watt dan 12,42%.
3. Pada Pengujian kontrol *Boost converter*, diketahui bahwa semakin kecil nilai hambatan yang diberikan, maka semakin besar drop tegangan yang akan terjadi dan *time recovery* yang dibutuhkan sistem untuk kembali pada setpoint membutuhkan waktu yang lama. Pada saat beban 6Ω terjadi drop tegangan sebesar 2,8 Volt dan *time recovery* sebesar 1,08 detik, pada saat beban 120Ω terjadi drop tegangan sebesar 1,2 volt dengan *time recovery* sebesar 0,5 detik.
4. Implementasi MPPT dengan algoritma *Perturb and Observe-Fuzzy* (P&O-Fuzzy) pada panel surya sangat berpengaruh pada kinerja dan pemanfaatan paya panel surya secara optimal dan maksimal. Rata - rata efisiensi MPPT pada saat penggunaan kontrol MPPT P&O-Fuzzy sebesar 88,66%. sedangkan pada saat panel surya diberikan pembebanan langsung (*direct couple*) akan diperoleh nilai efisiensi yang rendah yaitu sebesar 82,25%.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, penulis memberikan saran untuk bisa mengembangkan dari penelitian berikutnya. Berikut saran yaitu perlu adanya penelitian lebih lanjut yang bertujuan untuk meningkatkan daya keluaran dan efisiensi panel surya yang lebih baik lagi. Selain itu, perlunya algoritma atau metode pembandingan menggunakan kontrol cerdas yang lain seperti *Partical Swarm Optimization*, *Ant Colony*, dan *ANFIS* dengan algoritma yang lain seperti *Incremental Conductance*.



DAFTAR PUSTAKA

- Purwadiharja, 2018. Kontrol Scanning Reflektor Cermin Cekung Pada Panel Surya Polikristal 50WP. Jember : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember
- Fuady, Atar. 2016. Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (Mppt) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy. Surabaya : Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Fauzi Iskandar, Muhammad. 2014. Sistem Maximum Power Point Tracker (Mppt) Dengan Konverter Dc-Dc Tipe Boost Menggunakan Logika Fuzzy Untuk Panel Surya. . Jember : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember
- Wati, DAR. 2011. *Sistem Kendali Cerdas*. Yogyakarta : Graha Ilmu
- Rashid, MH. 1988. *Power Electronic Circuit, Device, amd Aplication*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc
- Ashari, Mochamad. 2017. *Desain Konverter Elektronika Daya*. Bandung : Informatika
- D. K. Sharma dan G. Purohit, Advanced Perturbation and Observation (P&O) based Maximum Power Point Tracking (MPPT) of Solar PhotoVoltaic System, Conference Paper IEEE.1-5, 2012
- Darmawan, Dianggoro. Perancangan Maximum Power Point Tracker (MPPT) Untuk Panel Surya Menggunakan Konverter Cuk Dengan Metode Hill Climbing.
Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Institut Sepuluh November.
- Esrn, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. Energy Conversion, IEEE Transactions on , 22 (2), 439 - 449.
- Bouselham, L. 2009. "Comparative Study of Different MPPT Methods for Photovoltaic System." IEEE 32.

- Kurniawan , Aries Pratama. Optimalisasi Sel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracker (Mppt) Sebagai Catu Daya Base Transceiver Station (Bts). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Chin,CS., Neelakantan,P., Yoong, HP., & Teo,KTK. (2011). Optimisation of Fuzzy Based Maximum Power Point Tracking in P V S y s t e m R a p i d l y C h a n g i n g S o l a r I r r a d i a n c e . Transaction on Solar Energy and Planning. ISSN: 2229-8711 Online Publication, June
- Surojo. 2010. Pengembangan Metode Maksimum Power Point Tracking (MPPT) menggunakan Fuzzy Logic Control dan Boost Konverter pada Solar Sel. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Hamdani ,Dadan. Subagiada, Kadek. dan Subagiyo, Lambang. 2011. Analisis Kinerja Solar *Photovoltaic System* (Sps) Berdasarkan Tinjauan Efisiensi Energi dan *Eksergi*. *Program Studi Fisika FMIPA Universitas Mulawarman Samarinda*.
- Karina, A.Satwiko, S. 2012. Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya. Universitas Negeri Jakarta.
- Mintorogo, Danny Santoso. 2000. Strategi Aplikasi Sel Surya (*Photovoltaic Cells*) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial. Jurusan Teknik Arsitektur: Universitas Kristen Petra.
- Mulyono, Dwi. 2003. Pengaruh penambahan reflektor Terhadap karakteristik arus tegangan dan efisiensi sel surya. Jurusan Teknik Mesin :Fakultas Teknik universitas Sebelas Maret Surakarta
- Fathurachman, Ahmad, 2015 “Perancangan Boost Converter Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya”, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi.
- Utomo, Hery Setyo. 2016. Optimalisasi Daya dan Energi Listrik pada Panel Surya dengan Teknologi *Scanning Reflektor Cermin Datar*. Jember: FTEKNIK Universitas Jember.

LAMPIRAN

A. Listing Program

```
#include<Wire.h>
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
#include<virtuabotixRTC.h>
#include<SD.h>
#include<SPI.h>
#include <Stepper.h>
#include <BH1750.h>

BH1750 lightMeter;
char dayofweek[7][12] = {"Min", "Sen", "Sel", "Rab", "Kam", "Jum", "Sab"};
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // Set the LCD I2C
address
virtuabotixRTC myRTC(6,7,8);
File myFile;
//const int stepsPerRevolution = 20;
//Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 0, 1, 2, 3);
const int chipSelect = 4;
int pwm = 9;
int sensorArusOut = A1;
int sensorArusIn = A0;
int sensorVin = A2;
int sensorVout = A3;
int value, value1, value2, sudut2, sudut1, sudut = 0;
float vout, vout_n, d_vout, vin, Iin, Iout, d_Iout, Iout_n, vadc, vadc1, vadc2, LUX1,
Pout, Pout2, d_Pout = 0.0;
```

```
int timer1_counter;
```

```
int ii;
```

```
int Smpl=200;
```

```
byte armsDown[8] = {
```

```
    0b00100,
```

```
    0b01010,
```

```
    0b00100,
```

```
    0b00100,
```

```
    0b01110,
```

```
    0b10101,
```

```
    0b00100,
```

```
    0b01010
```

```
};
```

```
byte armsUp[8] = {
```

```
    0b00100,
```

```
    0b01010,
```

```
    0b00100,
```

```
    0b10101,
```

```
    0b01110,
```

```
    0b00100,
```

```
    0b00100,
```

```
    0b01010
```

```
};
```

```
int i;
```

```
float sens_V1 = 0.00;
```

```
float tegangan1 = 0;
```

```
float sens_V2 = 0.00;
```

```
float tegangan2 = 0;
```

```
float sens_I1 = 0.00;
```

```
float arus1 = 0;
```

```
float arus2 = 0;
```

```
//float pressure = 0;
```

```
double pulsa = 0.00;
```

```
int Speed = 0;
```

```
float Speed_H1=0;
```

```
float Speed_H2=0;
```

```
double K;
```

```
float TBS=0;
```

```
float TBM=0;
```

```
float TBL=0;
```

```
float LA1=0;
```

```
float LA2=0;
```

```
float XA1=0;
```

```
float XA2=0;
```

```
float X0=0;
```

```
float U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9;
```

```
float I_S_, I_M, I_M_, I_L;
```

```
float V_S_, V_M, V_M_, V_L;
```

```
double Z1;
```

```
double Z2;
```

```
float I = 0.00;
```

```
float V = 0.00;
```

```
void fuzzy(){
```

```
float MedA=0.6;
```

```
float MaxA=1.2;
```

```
float MedV=13.5;
```

```
float MaxV=27;
```

```
U1 = 0;
```

```
U2 = 0;
```

```
U3 = 0;
```

```
U4 = 0;
```

```
U5 = 0;
```

```
U6 = 0;
```

```
U7 = 0;
```

```
U8 = 0;
U9 = 0;

if( I>=0 && I<=MedA){
  I_S_ = (MedA - I)/MedA;
  I_M = I/MedA;

  if(V>=0 && V<MedV){
    V_S_ = (MedV - V)/MedV;
    V_M = V/MedV;

    U1 = min(I_S_,V_S_);
    U2 = min(I_M,V_S_);
    U4 = min(I_S_,V_M);
    U5 = min(I_M,V_M);
  }
  if(V>=MedV && V<=MaxV){
    V_M_ = (MaxV - V)/MedV;
    V_L = (V - MedV)/MedV;

    U4 = min(I_S_,V_M_);
    U5 = min(I_M,V_M_);
    U7 = min(I_S_,V_L);
    U8 = min(I_M,V_L);
  }
}

if( I>=MedA && I<=MaxA){
```



```
I_M_ = (MaxA - I)/MedA;  
I_L = (I-MedA)/MedA;  
  
if(V>=0 && V<MedV){  
    V_S_ = (MedV - V)/MedV;  
    V_M = V/MedV;  
  
    U2 = min(I_M_,V_S_);  
    U3 = min(I_L,V_S_);  
    U6 = min(I_L,V_M);  
    U5 = min(I_M_,V_M);  
}  
if(V>=MedV && V<MaxV){  
    V_M_ = (MaxV - V)/MedV;  
    V_L = (V - MedV)/MedV;  
  
    U5 = min(I_M_,V_M_);  
    U6 = min(I_L,V_M_);  
    U8 = min(I_M_,V_L);  
    U9 = min(I_L,V_L);  
}  
}  
}
```

```
void defuzzyfikasi(){  
    float LimS = 0.0555;  
    float LimM = 0.0590;
```

```
float LimL = 0.0624;
```

```
TBS=LimS+(LimM-LimS)/3;
```

```
TBL=LimM+(LimL-LimM)*2/3;
```

```
LA1=0.5*(LimM-LimS);
```

```
LA2=0.5*(LimL-LimM);
```

```
XA1=((float)2/3)*(LimM-LimS);
```

```
XA2=(LimL-LimM)/3+(LimM-LimS);
```

```
X0=(LA1*XA1+LA2*XA2)/(LA1+LA2);
```

```
TBM=X0+LimS;
```

```
Z1 = ((U1*0.0567) + (U2*0.059) + (U3*0.0613) + (U4*0.059) + (U5*0.059) +
(U6*0.0613) + (U7*0.059) + (U8*0.059) + (U9*0.0613))/(U1 + U2 + U3 + U4 +
U5 + U6 + U7 + U8 + U9);
```

```
Z2 = ((U1*TBS) + (U2*TBM) + (U3*TBL) + (U4*TBM) + (U5*TBM) +
(U6*TBL) + (U7*TBM) + (U8*TBM) + (U9*TBL))/(U1 + U2 + U3 + U4 +
U5 + U6 + U7 + U8 + U9);
```

```
}
```

```
void setup() {
```

```
pinMode(2, OUTPUT);
```

```
pinMode(3, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(2, LOW);
```

```
digitalWrite(3, LOW);
```

```
pinMode(sensorVin, INPUT);
```

```
pinMode(sensorVout, INPUT);
```

```
pinMode(sensorArusOut, INPUT);
pinMode(sensorArusIn, INPUT);
pinMode(pwm, OUTPUT);
pinMode(9,OUTPUT);
//myStepper.setSpeed(60);
Serial.begin(9600);
Wire.begin();
lightMeter.begin();

lcd.begin(16,2); // initialize the lcd for 16 chars 2 lines, turn on backlight
lcd.backlight();
delay(250);
lcd.noBacklight();
delay(250);
lcd.backlight();

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Moh. Rizqi F ");
delay(1000);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" 151910201062 ");
delay(1000);
lcd.clear();

while (!Serial) {
  ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
}
```

```
Serial.print("Initializing SD card...");

// see if the card is present and can be initialized:
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("Card failed, or not present");
  // don't do anything more:
  while (1);
}
Serial.println("card initialized.");

myRTC.setDS1302Time(00,00,14,7,18,07,2019);
    //detik, menit, jam, hari dalam seminggu, tanggal, bulan, tahun
    // 00:30:00 "Sabtu" 23-Maret-2019

lcd.begin(16, 2);
lcd.setBacklight(255);
lcd.home();
lcd.setCursor(00,00);
lcd.print("  Bismillah ");
lcd.setCursor(00,01);
lcd.print("Sukses & Lancar");
delay(1000);
lcd.clear();

TCCR0B = TCCR0B & 0b11111000 | 0x01;
TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | 0x01;
TCCR2B = TCCR2B & 0b11111000 | 0x01;
```

```
//TCCR3B = TCCR3B & 0b11111000 | 0x01;
}

void loop() {
RTC();
tegangan_vin();
tegangan_vout();
arus_Iin();
arus_Iout();
lux_meter();
P_out();
delta_v();
delta_i();
delta_P();
sudut_ref();
PWM();
Datalog();
}

void RTC(){
  myRTC.updateTime();//memanggil fungsi untuk update data waktu
  Serial.print("Kamis, "); //penulisan data pada serial monitor komputer
  //Serial.print(myRTC.dayofweek);
  //Serial.print("/");
  Serial.print(myRTC.dayofmonth); //fungsi penulisan data untuk tanggal
  Serial.print("/"); //penulisan data "/" sebagai separator
  Serial.print(myRTC.month); //fungsi penulisan data untuk bulan
  Serial.print("/"); //penulisan data "/" sebagai separator
```

```
Serial.print(myRTC.year);          //fungsi penulisan data untuk tahun
Serial.print(" ");                 //penulisan data untuk jarak
Serial.print(myRTC.hours);        //fungsi penulisan data untuk jam
Serial.print(":");
Serial.print(myRTC.minutes);      //fungsi penulisan data untuk menit
Serial.print(":");
Serial.println(myRTC.seconds);    //fungsi penulisan data untuk detik
}

void tegangan_vin() {
  value = analogRead(sensorVin);
  vadc = ((value * 5.0) / 1024.0);
  vin = ((vadc - 0.0141)/0.1888);
  vin = abs(vin);
  Serial.print(vin,3);
  Serial.print(" V");
  Serial.print(" ");
  delay(1000);
}

void tegangan_vout() {
  value1 = analogRead(sensorVout);
  vadc1 = ((value1 * 5.0) / 1024.0);
  vout = ((vadc1 + 0.0006)/0.1309);
  delay(1000);
  vout = abs(vout);
  Serial.print(vout,3);
  Serial.print(" V ");
  lcd.setCursor(00,01);
```

```
lcd.print("Vout : ");  
lcd.setCursor(7,1); lcd.print(vout);  
lcd.setCursor(13,1); lcd.print("V");  
delay(1000);  
}  
  
void arus_Iin(){  
  int sensorValue = analogRead(A0);  
  //Serial.println(sensorValue) ;  
  Iin = ((510 - analogRead(A0))*0.0740543263);  
  //Iin1 = ((Iin - 0.0039)/0.9851);  
  Iin = abs(Iin);  
  Serial.print(Iin,3);  
  Serial.print(" A");  
  Serial.print(" ");  
  //lcd.setCursor(00,00);  
  //lcd.print("Iin : ");  
  //lcd.setCursor(7,00); lcd.print(Iin);  
  //lcd.setCursor(13,00); lcd.print("mA");  
  delay (1000);  
}  
  
void arus_Iout(){  
  int sensorValue2 = analogRead(A1);  
  Iout = ((512 - analogRead(A1))*0.0740543263);  
  Iout = abs(Iout);  
  Serial.print(Iout,3);  
  Serial.print(" A ");
```

```
//lcd.setCursor(00,01);  
//lcd.print("Iout : ");  
//lcd.setCursor(7,1); lcd.print(Iout);  
//lcd.setCursor(13,1); lcd.print("mA");  
delay (1000);  
}
```

```
void P_out(){  
  Pout = (Iout*vout);  
  Serial.print(Pout,3);  
  Serial.print(" W ");  
  lcd.setCursor(00,00);  
  lcd.print("Pout :");  
  lcd.setCursor(7,00); lcd.print(Pout);  
  lcd.setCursor(13,00); lcd.print("W");  
  delay(1000);  
}
```

```
void delta_v(){  
  value2 = analogRead(sensorVout);  
  vadc2 = ((value2 * 5.0) / 1024.0);  
  vout_n = ((vadc2 + 0.0006)/0.1309);  
  d_vout = vout_n - vout;  
  //vout = abs(vout);  
  Serial.print(d_vout,3);  
  Serial.print(" e ");  
  delay(1000);  
}
```



```
void delta_i(){
  int sensorValue3 = analogRead(A1);
  Iout_n = ((512 - analogRead(A1))*0.0740543263);
  d_Iout = Iout_n-Iout;
  Serial.print(d_Iout,3);
  Serial.print(" e ");
  delay (1000);
}
```

```
void delta_P(){
  Pout2 = (Iout_n*vout_n);
  d_Pout = Pout2-Pout;
  Serial.print(d_Pout,3);
  Serial.print(" W ");
  lcd.setCursor(00,00);
  lcd.print("Pout :");
  lcd.setCursor(7,00); lcd.print(Pout);
  lcd.setCursor(13,00); lcd.print("W");
  delay(1000);
}
```

```
void lux_meter(){
  float lux = lightMeter.readLightLevel();
  LUX1 = (((lux*1.9838)+9.4378));
  //Serial.print("Light: ");
  Serial.print(LUX1);
  Serial.print(" lx ");
  delay(1000);
}
```

```
}
```

```
void sudut_ref(){  
    int sudut = analogRead(A4);  
    int sudut2 = map(sudut,844,923,30,90);  
    int sudut1 = 120-sudut2;  
    Serial.print(sudut2);  
    Serial.println(" drjt");  
    delay(1000);  
}
```

```
void PWM(){  
    if(vout < 17){  
        pwm++;  
        pwm = constrain(pwm,1,254);  
    }  
    if(vout > 17){  
        pwm--;  
        pwm = constrain(pwm,1,254);  
    }  
    analogWrite(9 ,pwm);  
}
```

```
void Datalog(){  
    File dataFile = SD.open("dataN14n.txt", FILE_WRITE);  
    // if the file is available, write to it:  
    if (dataFile) {
```

```
dataFile.print("Kamis,"); //penulisan data pada serial monitor komputer
dataFile.print(myRTC.dayofmonth); //fungsi penulisan data untuk tanggal
dataFile.print("/"); //penulisan data "/" sebagai separator
dataFile.print(myRTC.month); //fungsi penulisan data untuk bulan
dataFile.print("/"); //penulisan data "/" sebagai separator
dataFile.print(myRTC.year); //fungsi penulisan data untuk tahun
dataFile.print(" "); //penulisan data untuk jarak
dataFile.print(myRTC.hours); //fungsi penulisan data untuk jam
dataFile.print(":");
dataFile.print(myRTC.minutes); //fungsi penulisan data untuk menit
dataFile.print(":");
dataFile.println(myRTC.seconds); //fungsi penulisan data untuk detik
dataFile.print(vin);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(vout);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(Iin);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(Iout);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(Pout);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(d_vout);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(d_Iout);
dataFile.print(" ");
dataFile.print(d_Pout);
dataFile.print(" ");
```

```
dataFile.print(LUX1);  
dataFile.print(" ");  
dataFile.close();  
  
// print to the serial port too:  
}  
  
// if the file isn't open, pop up an error:  
else {  
    Serial.println("error opening IFAN.txt");  
}  
delay(1000);  
}
```

B. Gambar Alat dan Skema



