



**RANCANG BANGUN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING*
MENGUNAKAN *BUCK CONVERTER* UNTUK *SOLAR CHARGER*
BERBASIS *PERTURB & OBSERVE – FUZZY***

SKRIPSI

Oleh

Jonata Putra Purnama

NIM 151910201009

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**RANCANG BANGUN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING*
MENGUNAKAN *BUCK CONVERTER* UNTUK *SOLAR CHARGER*
BERBASIS *PERTURB & OBSERVE – FUZZY***

SKRIPSI

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

Oleh

Jonata Putra Purnama

NIM 151910201009

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Puji syukur terpanjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan skripsi ini banyak sekali semangat yang didapatkan dari banyak pihak. Untuk itu persembahan ini penulis berikan kepada :

1. Kedua Orang Tua saya, Ayahanda Sugiono dan Ibunda Muzdalifah tercinta, terimakasih atas semua pengorbanan, usaha, jerih payah, kasih sayang, dorongan, nasehat dan air mata yang menetes dalam setiap untaian doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah perjuangan serta keberhasilan penulis.
2. Bapak Dosen Pembimbing Utama Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. serta Bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak RB. Moch. Gozali, S.T., M.T. 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. Almamaterku Universitas Jember yang saya cintai dan banggakan.
5. Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Elektro (HME) Fakultas Teknik Universitas Jember sebagai wadah penulis dalam memperoleh ilmu dan wawasan keorganisasian, dan mendapatkan keluarga baru dalam mengemban tugas bersama.
6. Sahabat-sahabat ku tercinta yang telah memberikan semangat serta perhatian yang luar biasa.
7. Seluruh Dulur Elektro 2015 yang telah memberikan dukungan dan doanya.

MOTTO

“Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.”

(QS. Al-Baqarah : 153)

“It always seems impossible until it's done.”

(Nelson Mandela)

“Life is like ridding a bicycle. To keep your balance, you must keep moving.”

(Albert Einstein)

“A goal without a plan is just a wish”

(Antoine de Saint-Exupéry)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jonata Putra Purnama

NIM : 151910201009

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “**Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking Menggunakan Buck Converter Untuk Solar Charger Berbasis Perturb & Observe – Fuzzy**” 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, 21 Juli 2020

Yang menyatakan,

Jonata Putra Purnama

NIM.151910201009

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING*
MENGUNAKAN *BUCK CONVERTER* UNTUK *SOLAR CHARGER*
BERBASIS *PERTURB & OBSERVE – FUZZY***

Oleh

Jonata Putra Purnama

NIM 151910201009

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : RB. Moch. Gozali, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracking* Menggunakan *Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Perturb & Observe – Fuzzy*” karya Jonata Putra Purnama telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Jumat

Tanggal : 17 Juli 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing Utama Tim Penguji,
Pembimbing Anggota,

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

RB. Moch. Gozali, S.T., M.T.
NIP 196906081999031002

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT.
NIP 197008261997021001

Samsul Bachri M., ST., MMT.
NIP 196403171998021001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT.

NIP 197008261997021001

**RANCANG BANGUN MAXIMUM POWER POINT TRACKING
MENGUNAKAN BUCK CONVERTER UNTUK SOLAR CHARGER
BERBASIS PERTURB & OBSERVE – FUZZY**

Jonata Putra Purnama

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Energi listrik merupakan bagian yang tidak terpisahkan bagi kehidupan manusia pada era saat ini. Semakin berkembangnya kehidupan manusia maka kebutuhan energi listrik juga meningkat, maka penggunaan bahan bakar fosil juga semakin bertambah khususnya bahan bakar minyak. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang ramah lingkungan dan konvensional maka digunakan energi alternatif. Pada penelitian ini menggunakan photovoltaic 100 Wp sebagai penghasil daya yang kemudian energi yang diperoleh disimpan di baterai 12 Volt 7,5 Ah, untuk menghasilkan efisiensi yang lebih baik penelitian ini menggunakan kontrol algoritma *perturb & observe – fuzzy* sebagai kontrol tegangan output.

Kata Kunci : Photovoltaic, Baterai, *Perturb & Observe*, *Fuzzy*

**DESIGN OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING USING BUCK
CONVERTER FOR SOLAR CHARGER BASED ON PERTURB &
OBSERVE - FUZZY**

Jonata Putra Purnama

Electrical Engineering, Engineering Faculty, University of Jember

ABSTRAC

Electrical energy is an inseparable part of human life in the current era. As human life develops, the need for electrical energy also increases, so the use of fossil fuels is also increasing, especially fuel oil. To reduce dependence and save on the use of fossil energy, alternative energy is used to meet the needs of electric energy that is environmentally friendly and conventional. In this study using 100 Wp photovoltaic as a power generator, then the energy obtained is stored in a battery with 12 Volt 7.5 Ah, to produce better efficiency. This research uses the control of perturb & observe - fuzzy algorithm as a control output.

Keyword : Photovoltaic, Battery, *Perturb & Observe*, *Fuzzy*

RINGKASAN

Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracking* Menggunakan *Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Perturb & Observe – Fuzzy*; Jonata Putra Purnama, 151910201009; 2020; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Energi listrik merupakan bagian yang tidak terpisahkan bagi kehidupan manusia pada era saat ini. Terlebih didukung dengan perkembangan teknologi yang semakin maju dan pesat mengaruskan manusia untuk senantiasa berinovasi, semakin berkembangnya kehidupan manusia maka kebutuhan energi listrik juga meningkat. Menurut data Kementerian ESDM tahun 2018 di Indonesia konsumsi tenaga listrik per kapita dan per pelanggan setiap tahunnya terus mengalami peningkatan. Untuk mengurangi ketergantungan dan menghemat penggunaan energi fosil, untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang ramah lingkungan dan konvensional maka digunakan energi alternatif. Energi alternatif merupakan energi yang didapat dari hasil sumber daya alam yang dapat diperbarui atau tidak terbatas ketersediaannya

Maka dari itu dilakukan penelitian yang merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu “Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracking* Menggunakan *Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Perturb & Observe-Fuzzy*”. Penelitian ini akan membuat sistem charger yang mana menggunakan panel surya 100 Wp sebagai sumber energinya dan menggunakan *buck converter* yang dapat menurunkan tegangan serta menggunakan baterai sebesar 12 V sebagai *backup* tegangan *output* dari *Solar Charger*. Tegangan keluaran panel surya akan di turunkan tegangannya yaitu menggunakan *buck converter* hingga diperoleh tegangan *output* dengan kontrol P&O – Fuzzy sebagai pengendali tegangan keluarannya.

Hasil dari penelitian Pada pengujian *buck converter* tanpa kontrol, maka diketahui bahwa semakin kecil nilai hambatan yang diberikan, maka semakin besar drop tegangan yang akan terjadi, pada saat beban 39 Ohm terjadi drop tegangan sebesar 0.16 Volt sedangkan saat diberikan beban 15 Ohm terjadi drop tegangan sebesar 0.38 Volt. Sedangkan saat menggunakan kontrol algoritma *perturb & observe – fuzzy* tegangan yang drop saat pemberian beban akan dikontrol melalui driver mosfet untuk mengatur tegangan yang awalnya drop.

Selanjutnya yaitu pengujian ketika konverter diberikan beban baterai dimana dilakukan charging baterai menggunakan panel surya 100wp dengan irradiasi yang bervariasi antara 379 – 1021 W/m² didapat tegangan rata – rata sebesar 14.16 V dan arus rata – rata sebesar 2.24 A. Sedangkan lama pengujian beban baterai ini sendiri memakan waktu selama 5 jam.



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracking* Menggunakan *Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Perturb & Observe – Fuzzy*”. 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 Sugiono dan ibu Sri Muzdalifah yang telah membantu baik moral atau materil serta doa yang tidak pernah putus.
4. Kakak saya, Nadia Safitri yang selalu memberi dukungan dan memotivasi agar pantang menyerah.
5. Dosen pembimbing utama bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. serta bapak RB. Moch. Gozali, S.T., M.T. Dosen penguji bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT dan bapak Samsul Bachri M., ST., MMT yang selalu memberikan arahan dalam penelitian ini.
6. Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa. Serta jajaran dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh perkuliahan.
7. Keluarga Teknik Elektro 2015 “D15TORSI” yang sudah menemani saya berproses selama menjadi mahasiswa Teknik Elektro Universitas Jember.
8. Keluarga besar *Renewable Energy* yang telah memfasilitasi dan membantu dari segi moril dan materil sehingga terselesaikannya skripsi ini.
9. Guru-guru yang telah membimbing saya mulai dari taman kanak-kanak sampai sekolah menengah.

10. Teman main kontrakan Puri Bunga, kosan Patrang, IKMM, Futsal HME UNEJ, SUTET dan Dulur- dulur Elektro yang telah berjasa menghilangkan kepenatan selama pengerjaan skripsi ini.

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

Jember, 21 September 2020

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRAC	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Panel Surya	4
2.1.1 Prinsip Kerja Panel Surya	4
2.1.2 Parameter Sel Surya	5
2.1.3 Jenis – Jenis Panel Surya	7
2.2 Baterai	8
2.3 <i>Buck Converter</i>	10

2.3.1 Kondisi Saklar Tertutup (<i>switch ON</i>)	11
2.3.2 Kondisi Saklar Terbuka (<i>switch OFF</i>)	12
2.4 Arduino	13
2.5 Sensor Tegangan	14
2.6 Sensor Arus ACS712	15
2.7 MPPT	15
2.8 <i>Perturb and Observe</i>	17
2.9 <i>Fuzzy</i>	19
2.9.1 Tahap Pemodelan Dalam <i>Fuzzy Logic</i>	20
2.9.2 Struktur Dasar <i>Fuzzy Logic Controller</i>	22
2.9.3 <i>Fuzzification</i>	25
2.9.4 <i>Rule Evaluation</i>	26
2.9.5 <i>Defuzzification</i>	26
BAB 3. METODE PENELITIAN	28
3.1 Rancangan Penelitian	28
3.1.1 Jenis Penelitian	28
3.1.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.1.3 Perencanaan Jadwal Penelitian	28
3.1.4 Alat dan Bahan	29
3.2 Jenis dan Sumber data	30
3.3 Perencanaan Komponen Pengendali (<i>Hardware</i>)	26
3.4 Desain Sistem Kontrol MPPT	39
3.4.1 Flowchart Kendali	39
3.4.2 Perencanaan Metode <i>Perturb & Observe</i>	31
3.4.3 Perancangan Fuzzy	33
3.4.4 Perencanaan Baterai.....	49
3.5 <i>Design</i> Perancangan Secara keseluruhan	51
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Pengujian Karakteristik Panel Surya 100 WP	53
4.2 Analisa Pengujian Sensor Tegangan	56
4.3 Analisa Pengujian Sensor Arus	58

4.4 Analisa Pengujian Sinyal PWM	60
4.5 Analisa Hasil <i>Buck Converter</i>	64
4.3.1 Pengujian <i>Duty Cycle Buck Converter</i>	66
4.3.2 Pengujian Efisiensi <i>Buck Converter</i>	68
4.3.3 Pengujian <i>Buck Converter</i> Dengan Beban	70
4.6 Analisa Kerja Sistem <i>MPPT</i> dengan Algoritma P&O – <i>fuzzy</i>	76
4.7 Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Kontrol (<i>Open Loop</i>)	82
4.8 Pengujian <i>Buck Converter</i> dengan Kontrol Algoritma P&O) - <i>Fuzzy</i>	84
4.8.1 Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Beban	84
4.8.2 Pengujian <i>Buck Converter</i> dengan Variasi Beban Resistif.....	85
4.9 Pengujian <i>Buck Converter</i> dengan Menggunakan Beban Baterai	89
BAB 5.PENUTUP	93
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN	97

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno R3	14
Tabel 2.2 Karakteristik Utama Metode – Metode <i>MPPT</i>	17
Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Penelitian	28
Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya 100 Wp	36
Tabel 3.3 Algoritma <i>MPPT Perturb and Observe</i>	45
Tabel 3.4 <i>Rule base</i> pada <i>Fuzzy Logic</i>	48
Tabel 4.1 Pengujian Karakteristik Panel Surya 100 Wp	53
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Sensor Tegangan	57
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712 30A	58
Tabel 4.4 Data Gelombang PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	61
Tabel 4.5 Spesifikasi Komponen <i>Buck Converter</i>	65
Tabel 4.6 Hasil Pengujian <i>Duty Cycle Buck Converter</i>	67
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Efisiensi <i>Buck Converter</i>	69
Tabel 4.8 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Tegangan Output	70
Tabel 4.9 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Arus Output	72
Tabel 4.10 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Daya Output	73
Tabel 4.11 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Tegangan Efisiensi	75
Tabel 4.12 <i>Rule Base</i> pada <i>Fuzzy Logic</i>	78
Tabel 4.13 Pengujian Pemberian Beban pada <i>Buck Converter</i> Tanpa Kontrol ..	83
Tabel 4.14 Pengujian <i>Buck Converter</i> dengan Pemberian Beban Resistif	86
Tabel 4.15 Data Pengujian dengan Beban Baterai pada Pengujian Hari Pertama	89
Tabel 4.14 Data Pengujian dengan Beban Baterai pada Pengujian Hari Kedua	91

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Cara Kerja Sel Surya Silikon	5
Gambar 2.2 <i>Battery</i> atau <i>Accu</i>	8
Gambar 2.3 Rangkaian <i>Buck Converter</i>	10
Gambar 2.4 <i>Buck Converter</i> saat Kondisi <i>Switch On</i>	11
Gambar 2.5 <i>Buck Converter</i> saat Kondisi <i>Switch OFF</i>	12
Gambar 2.6 Modul Kontroler Arduino UNO-R3	13
Gambar 2.7 Sensor Tegangan DCT-Elektronik	14
Gambar 2.8 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712	15
Gambar 2.9 Perubahan Titik Kerja PV Akibat Beban	16
Gambar 2.10 <i>Flowchart</i> Algoritma <i>Perturb and Observe</i>	18
Gambar 2.11 Model Linguistik Fuzzy	19
Gambar 2.12 Blok Diagram Fuzzy Secara Keseluruhan	20
Gambar 2.13 Blok Diagram Sistem Fuzzy 1	21
Gambar 2.14 Blok Diagram Sistem Fuzzy 2	21
Gambar 2.15 Grafik Fungsi Min	25
Gambar 2.16 <i>Fuzzyfication</i>	25
Gambar 2.17 <i>Defuzzyfication</i>	27
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	31
Gambar 3.2 Blok diagram sistem	33
Gambar 3.3 Skematik Sensor Tegangan	34
Gambar 3.4 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan	35
Gambar 3.5 Panel Surya 100 Wp <i>Polycrystalline</i>	36
Gambar 3.6 Rangkaian <i>Buck Converter</i>	37
Gambar 3.7 Rangkaian Driver Mosfet	38
Gambar 3.8 Diagram Kontrol <i>Perturb & Observe</i> - Fuzzy	40
Gambar 3.9 <i>Flowchart Perturb & Observe</i>	42
Gambar 3.10 Daerah Kerja MPPT	43
Gambar 3.11 <i>Membership Function Error (E)</i>	46

Gambar 3.12 <i>Membership Delta Error (ΔE)</i>	47
Gambar 3.13 <i>Membership Function Duty Cycle (D)</i>	47
Gambar 3.14 Desain Alat 3D	51
Gambar 4.1 Grafik Pengujian Sensor Tegangan	58
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Arus dengan Multimeter	59
Gambar 4.3 Skematik Driver Mosfet	64
Gambar 4.4 Perancangan Driver Mosfet	64
Gambar 4.5 Skematik <i>Buck Converter</i>	66
Gambar 4.6 Perancangan <i>Buck Converter</i>	66
Gambar 4.7 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Keluaran Saat Berbeban	71
Gambar 4.8 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Arus Keluaran Saat Berbeban	73
Gambar 4.9 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Daya Keluaran Saat Berbeban ...	74
Gambar 4.10 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Efisiensi Saat Berbeban	76
Gambar 4.11 Grafik <i>Drop</i> Tegangan pada <i>Buck Converter</i> Tanpa Kontrol Saat Pemberian Beban Tambahan	84
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Antara Tegangan <i>Input</i> dan Tegangan <i>Output</i> Saat Tanpa Beban.....	85
Gambar 4.13 Grafik Pengujian Pemberian Beban 15 Ω	87
Gambar 4.14 Grafik Pengujian Pemberian Beban 27 Ω	88
Gambar 4.15 Grafik Pengujian Pemberian Beban 39 Ω	88
Gambar 4.16 Grafik Pengujian Pemberian Beban Baterai Hari Pertama	91
Gambar 4.17 Grafik Pengujian Pemberian Beban Baterai Hari Kedua	92

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Listing Program	97
Lampiran B. Lampiran Gambar	124



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan bagian yang tidak terpisahkan bagi kehidupan manusia pada era saat ini. Terlebih didukung dengan perkembangan teknologi yang semakin maju dan pesat mengaruskan manusia untuk senantiasa berinovasi, semakin berkembangnya kehidupan manusia maka kebutuhan energi listrik juga meningkat. Menurut data Kementerian ESDM tahun 2018 di Indonesia konsumsi tenaga listrik per kapita dan per pelanggan setiap tahunnya terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2017 dengan jumlah penduduk 261.890.900 jiwa jumlah konsumsi tenaga listrik sebesar 267.453,99 MWh. Semakin bertambahnya konsumsi listrik di Indonesia maka penggunaan bahan bakar fosil juga semakin bertambah khususnya bahan bakar minyak. Pada tahun 2017 penggunaan bahan bakar minyak pada pembangkit listrik tenaga uap sebesar 324.131,45 kilo liter. Untuk mengurangi ketergantungan dan menghemat penggunaan energi fosil, untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang ramah lingkungan dan konvensional maka digunakan energi alternatif. Energi alternatif merupakan energi yang didapat dari hasil sumber daya alam yang dapat diperbarui atau tidak terbatas ketersediaannya (Statistik Ketenagaan Listrik, 2018).

Sel surya merupakan salah satu energi alternatif yang terbuat dari bahan semikonduktor yang dapat merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan konsep fotovoltaik. Di Indonesia penggunaan energi surya masih sangat sedikit, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menghasilkan listrik relatif sedikit dibandingkan dengan pembangkit lainnya yaitu pada tahun 2016 sebesar 5,84 MW. Panel surya sendiri mempunyai efisiensi yang relatif kecil sekitar <40% dikarenakan tidak semua energi dari sinar matahari dapat diterima p-n junction yang mempunyai prinsip kerja mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, sehingga sebagian energi sinar matahari akan terbuang sia-sia menjadi panas. Dikarenakan pengaruh dari cuaca menyebabkan besar radiasi sinar matahari tidak tentu akibatnya tegangan keluaran dari panel surya tidak konstan. Ketika hasil arus dan tegangan keluaran dari panel

surya tidak konstan digunakan untuk *charger*, maka akan berdampak kerusakan pada baterai. (Statistik Ketenagaan Listrik, 2018).

Dari permasalahan tersebut diperlukan suatu alat yang dapat meningkatkan efisiensi dari panel surya. Penelitian ini telah dilakukan sebelumnya oleh “Suwandi” 2017. Judul penelitian yang dilakukan oleh Suwandi yaitu “Implementasi DC/DC *Boost Converter* Dengan *Control MMPT Perturb And Observe* (P&O) Sebagai Pengendali Daya Keluaran *Thermoelectric Generator* (TEG). Pada penelitian ini daya keluaran yang telah diberikan algoritma *MPPT perturb and observe* digunakan untuk *charging* baterai lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan algoritma *MPPT* dengan menaikkan daya sekitar 3 kali lipat dari daya *charging direct coupled*. Namun efisiensi rata-rata yang diperoleh masih kecil yaitu antara 1,5 – 4%.

Maka dari itu dilakukan penelitian yang merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu “Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracking* Menggunakan *Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Perturb & Observe-Fuzzy*”. Penelitian ini akan membuat sistem *charger* yang mana menggunakan panel surya 100 Wp sebagai sumber energinya dan menggunakan *buck converter* yang dapat menurunkan tegangan serta menggunakan baterai sebesar 12 V sebagai *backup* tegangan *output* dari *Solar Charger*. Tegangan keluaran panel surya akan di turunkan tegangannya yaitu menggunakan *buck converter* hingga diperoleh tegangan *output* dengan kontrol P&O – Fuzzy sebagai pengendali tegangan keluarannya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari permasalahan diatas, maka dapat disusun beberapa rumusan masalah yaitu :

1. Bagaimana perancangan *buck converter* pada sistem *solar charger*.
2. Bagaimana tegangan keluaran dari *buck converter* setelah dikendalikan oleh *MPPT* dengan metode *P&O-Fuzzy*.

1.3 Batasan Masalah

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

1. Panel surya yang digunakan sebesar 100 wp jenis *polycrystalline*.
2. Panel surya dipasang dengan sudut kemiringan 24 derajat ke arah timur.
3. Tidak membahas masalah kelembaban, suhu, dan kemiringan pada panel surya.
4. Pengujian DC-DC *Buck Converter* untuk *charger battery*.
5. Beban yang digunakan yaitu resistor kapur 15 Ohm, 27 Ohm, dan 39 Ohm.
6. *Battery* yang digunakan 12 Volt 7,5 Ah
7. Analisa hanya difokuskan pada tegangan keluaran *solar charger* menggunakan *Buck Converter* dengan menggunakan metode *P&O-Fuzzy*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini diantaranya :

1. Mengetahui perancangan *Buck Converter* pada sistem *Solar Charger*.
2. Dapat menerapkan sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan kontrol Fuzzy pada keluaran DC-DC *Buck Converter* sehingga memperoleh tegangan yang stabil.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan solusi terhadap pemanfaat energi matahari sebagai sumber energi listrik.
2. Mengoptimalkan tegangan keluaran pada panel surya 100 wp menggunakan *Buck Converter*.
3. Dapat digunakan sebagai literatur pada saat perancangan atau pembangunan sebuah energi terbarukan skala kecil yang berkaitan dengan *Buck Converter*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

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

2.1 Panel Surya

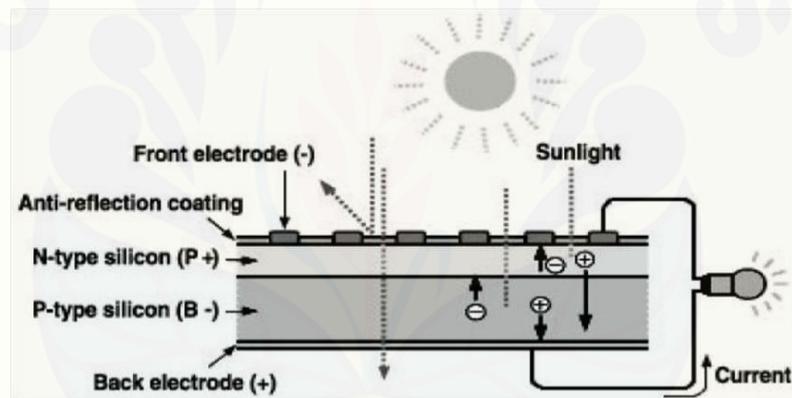
Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau “sol” karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel photovoltaic, photovoltaic dapat diartikan sebagai “cahaya listrik”. Sel surya bergantung pada efek photovoltaic untuk menyerap energi. Pada umumnya, solar cell merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif . Pada sel surya terdapat sambungan (function) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis “P” (Positif) dan semikonduktor “N” (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Dibawah bagian p terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif. (Yusmiati, 2014)

2.1.1 Prinsip Kerja Panel Surya

Prinsip kerja sel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor p-n junction. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor doping-n dan doping-p yang

membentuk p-n junction, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n elektron dari tipe-p (hole).

Semikonduktor tipe-n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar. Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p. Sehingga area doping tipe-n akan bermuatan positif sedangkan area doping-p akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi pada keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan hole ke daerah-p. Pada proses ini terbentuk p-n junction. Dengan menambahkan kontak logam pada area p dan n maka telah terbentuk dioda.



gambar 2.1 Cara Kerja Sel Surya Silikon

Ketika junction disinari, photon yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hole ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole. Apabila di tempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir. Skema cara kerja sel surya dapat dilihat dari gambar 2.1

2.1.2 Parameter Sel Surya

Pengoperasian sel surya sangat tergantung pada :

a. Ambient air temperature

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maximum jika temperature sel tetap normal (pada 25 derajat celcius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperature normal pada pv sel akan melemahkan tegangan (Voc). Setiap kenaikan temperature sel surya 1 derajat celcius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0,4% pada total tenaga yng dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10 derajat celcius.

b. Radiasi solar matahari (*insolation*)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. *Insolation* solar matahari akan banyak berpengaruh pada arus.

c. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi PV array dapat membantu mendinginkan permukaan temperature kaca-kaca PV array.

d. Keadaan atmosfer bumi

keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus dari deretan PV.

e. Orientasi panel atau array PV

Orientasi dari rangkaian PV (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maximum. Selain arah orientasi, sudut orientasi dari panel PV sebaiknya diorientasikan ke selatan, orientasi ke timur-barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel PV, tetapi tidak akan mendapat energi matahari optimum. Posisi letak sel surya terhadap matahari, mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum 1000 W/m² atau 1 kW/m². Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka extra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari)

2.1.3 Jenis – Jenis Panel Surya

2.1.3.1 *Single Crystalline*.

Yaitu kristal yang mempunyai satu jenis macamnya, tipe ini dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Jenis *single cristalline* antara lain:

a. *Gallium Arsenide Cell*

Gallium arsenide cell sangat efisien dari semua sel, tapi harganya sangat mahal. Efisiensi dari sel ini mampu mencapai 25 persen.

b. *Cadmium Sulfide Cell*.

Cadmium sulfide cell ini merupakan suatu bahan yang dapat dipertimbangkan dalam pembuatan panel surya, karena harga yang murah dan mudah dalam proses pembuatannya.

2.1.3.2 *Polycrystalline Cell*.

Polycrystalline cell merupakan kristal yang banyak macamnya, terbuat dari *cristal silicon* dengan efisiensi 10-12 persen.

2.1.3.3 *Amorphous Silicon Cell*.

Amorphous berarti tidak memakai kristal struktur non kristal, bahan yang digunakan berupa proses film yang tipis dengan efisiensi sekitar 4-6 persen.

2.1.3.4 *Copper Indium Diselenide Cell*.

Bahan semikonduktor yang aktif dalam sel surya CIS adalah *copper indium disenide*. Senyawa CIS sering juga merupakan paduan dengan *gallium* dan belerang. Efisiensi sekitar 9-11 persen.

2.1.3.5 *Cadmium Telluride (CdTe) Cell*.

Panel surya CdTe diproduksi pada substrat kaca dengan lapisan konduktor TCO transparan biasanya terbuat dari *indium tin axide* (ITO) sebagai kontak depan. Efisiensi 1 persen hingga 8,5 persen per efisiensi modul.

2.1.3.6 *Dye Sensitized*.

Prinsip kerja *Dye sensitized* yaitu menyerap cahaya dalam pewarna organik mirip dengan cara dimana tanaman menggunakan klorofil untuk menangkap energi dari sinar matahari dengan fotosintesis (Weller,2008).

2.2 Baterai

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



Gambar 2.2 Battery atau Accu

Beberapa proses yang terjadi pada baterai diantaranya yaitu :

a. *Charging* Baterai Aki

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

Pengisian *multi-stage*, terdiri dari 3 stage/tahap: *constant-current charge*, *topping charge* dan *float charge*. Selama *constant-current charge*, baterai diisi sampai 70 persen dalam waktu 5 jam; sisanya 30 persen adalah pengisian pelan-pelan dalam *topping charge*. *Topping charge* butuh sekitar 5 jam yang lain dan ini sangat penting untuk menjaga baterai tetap baik. Jika pola pengisian baterai tidak lengkap sesuai dengan kedua stage diatas, maka baterai akan kehilangan kemampuan untuk menerima full charge dan kinerja

baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, kompensasi *self-discharge* setelah baterai terisi penuh.

Baterai aki, terdiri dari beberapa sel. Baterai aki 12 Volt, terdiri dari 6 sel. Batas tegangan satu sel umumnya mulai dari 2,30V sampai 2,45V. Jadi baterai aki 12 Volt, tegangan sebenarnya adalah antara 13,8 V – 14,7 Volt. Kondisi baterai aki tergantung dari suhu. Suhu tinggi menyebabkan baterai cepat rusak. Pada saat charging baterai pada suhu ruangan melebihi 30 derajat celcius, tegangan yang direkomendasikan adalah 2.35V/sel. Pada saat charging, dan suhu ruangan tetap dibawah 30 derajat Celcius, tegangan charger untuk masing-masing sel disarankan 2.40 sampai 2.45Volt.

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

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

b. *Discharging* Baterai Aki

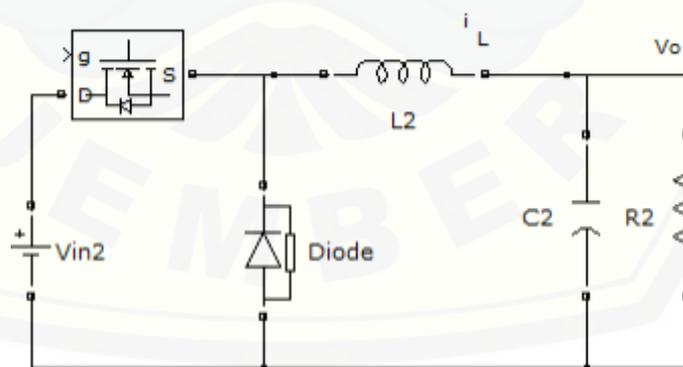
Kapasitas baterai sebesar 100 Ampere hour, artinya arus baterai akan habis dalam satu jam, bila beban menggunakan 100 Ampere. *Level discharge* baterai aki yang direkomendasikan adalah sampai dengan tegangan 1.75 Volt per sel. Baterai aki akan rusak apabila tegangan per sel lebih kecil dari 1.75 Volt (atau 10.5 Volt untuk baterai 12 Volt).

Masa baterai dihitung dalam jumlah cycle. Satu cycle adalah satu kali penggunaan dan pengisian. *Depth of discharge* (jumlah pemakaian ampere baterai), mempengaruhi jumlah cycle baterai aki. Pada suhu 25 derajat Celcius:

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

2.3 Buck Converter

Buck converter adalah konverter yang menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukannya. Tegangan keluaran yang dihasilkan mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan masukannya. *Buck Converter* biasa disebut juga sebagai *step-down converter*. Pada gambar 2.3 merupakan rangkaian dasar *buck converter* yang terdiri dari mosfet sebagai *switching* komponen, induktor, kapasitor dan resistor sebagai beban.



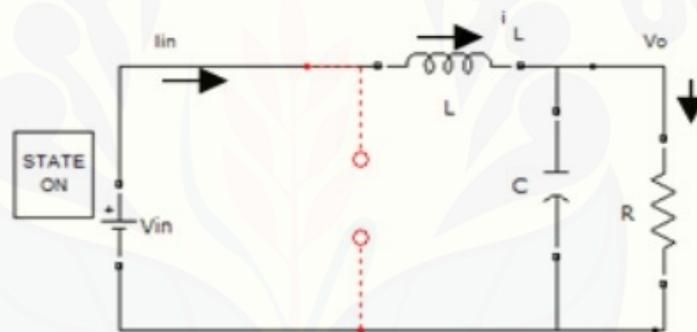
Gambar 2.3 Rangkaian *Buck Converter*.

Prinsip kerja *buck converter*, terdapat 2 state yaitu *state On* dan *state Off*. Ketika pada *state On* atau saklar pada kondisi *On*, arus sumber mengalir melalui induktor L menuju *output* beban kapasitor dan resistor hingga tegangan keluaran mendekati tegangan masukan. Ketika pada *state Off* atau saklar pada kondisi *Off*,

terjadi pembalikan polaritas sehingga energi yang tersimpan pada induktor akan mengalir terbalik berdasar tegangan yang tersimpan pada kapasitor hingga terjadi pengurangan pada kapasitor. Proses pengisian dan pengosongan inilah yang menyebabkan tegangan keluaran selalu lebih rendah dari tegangan masukannya

2.3.1 Kondisi Saklar Tertutup (*Switch ON*)

Ketika berada pada *state On*, Q1 akan berfungsi sebagai saklar yang menutup (konduksi) selama interval waktu dt , maka arus dari tegangan sumber V_{in} akan mengalir melalui induktor L , beban dan kembali lagi ke sumber. Karena tegangan yang diberikan kepada induktor konstan, maka arus yang melewati induktor meningkat secara *linier* (Tohir,2016). Pada gambar 2.4 menunjukkan *Buck Converter* saat kondisi *switch on*.



Gambar 2.4 *Buck Converter* saat Kondisi *Switch On*.

Secara matematika, waktu dari *state On* dapat ditulis seperti berikut:

$$T_{ON} = D \times T_S \quad (2.1)$$

Secara umum didapat persamaan sebagai berikut :

$$V_{in} = V_L + V_O \text{ dan } V_L = V_{in} - V_O \quad (2.2)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_{in} - V_O \quad (2.3)$$

$$L di = (V_{in} - V_O) dt \quad (2.4)$$

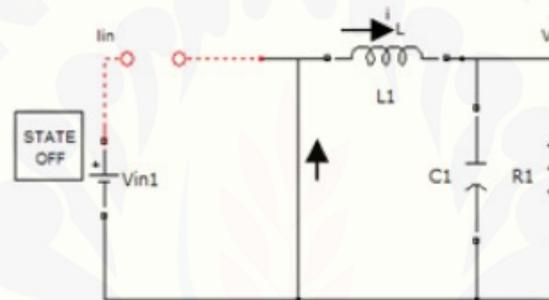
Karena lama waktu dt adalah selama saklar pada kondisi menutup atau *On*, maka

$$L di = (V_{in} - V_O) t_{on} \quad (2.5)$$

$$di = \frac{(V_{in} - V_O)}{L} t_{on} \quad (2.6)$$

2.3.2 Kondisi Saklar Terbuka (*Switch OFF*)

Ketika berada pada *state Off*, Q1 menjadi terbuka mengakibatkan arus dari sumber *input* tidak dapat mengalir melewati mosfet, sehingga sumber dari tegangan *output* sekarang berasal dari induktor dan kapasitor dimana dioda D menjadi aktif. Arus mengalir dari induktor L ke beban melalui dioda dan kembali menuju induktor L. Karena tegangan induktor menjadi lebih kecil dibandingkan saat *state ON* dan konstan, maka arus yang melewati induktor akan menjadi turun secara *linier* (Tohir,2016). Gambar 2.5 menunjukkan *Buck Converter* saat kondisi *switch off*.



Gambar 2.5 *Buck Converter* saat Kondisi *Switch Off*

Secara matematika, waktu dari *state Off* dapat ditulis seperti berikut:

$$T_{OFF} = (1 - D) \times T_S \quad (2.7)$$

Pada kondisi saklar membuka, dapat diturunkan persamaan sebagai berikut

$$V_L = V_L \quad (2.8)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_o \quad (2.9)$$

$$L di = V_o dt \quad (2.10)$$

karena lama waktu dt adalah selama saklar pada kondisi membuka atau *Off*, maka :

$$L di = V_o t_{off} \quad (2.11)$$

$$Di = \frac{V_o}{L} t_{off} \quad (2.12)$$

Diperoleh hubungan antara tegangan masukan dan keluaran, sebagai berikut:

$$V_o = V_{in} \times D \quad (2.13)$$

Dimana :

V_o : Tegangan keluaran (V)

V_{in} : Tegangan masukan (V)

D : *Duty Cycle* (%)

Jika menggunakan asumsi bahwa rangkaian tidak mengalami rugi-rugi maka dapat diturunkan sebagai berikut:

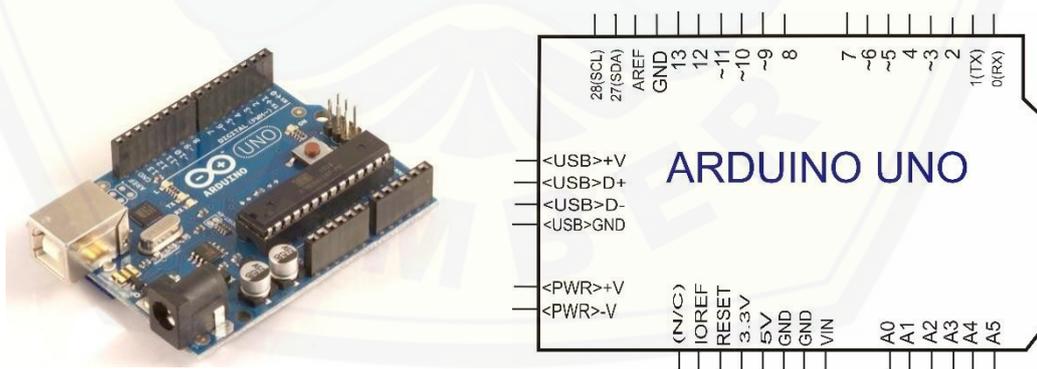
$$V_{in} \cdot I_{in} = V_o \cdot I_o = D V_{in} \cdot I_o \quad (2.14)$$

Sehingga arus masukan rata-rata adalah :

$$I_{in} = D \cdot I_o \quad (2.15)$$

2.4 Arduino

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



Gambar 2.6 Modul Kontroler Arduino UNO-R3

(Sumber : www.arduino.com)

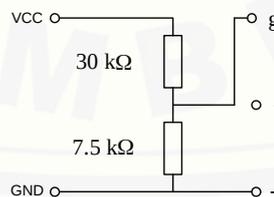
Adapun spesifikasi dari arduino Uno R3 sendiri seperti pada tabel 2 dibawah ini

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno R3

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

2.5 Sensor Tegangan

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



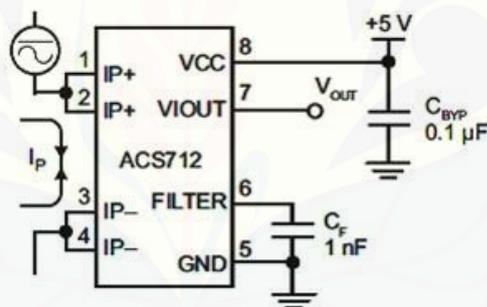
Gambar 2.7 Sensor Tegangan DCT-Elektronik

Gambar 2.7 adalah modul sensor pembagi tegangan. Kaki VCC dan GND adalah kaki-kaki untuk menempatkan terminal tegangan yang akan diukur

sedangkan pin g, + dan – adalah pin untuk dihubungkan dengan kaki ADC kontroler (Autodesk.Inc,2015).

2.6 Sensor Arus ACS 712

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



Gambar 2.8 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712

2.7 MPPT

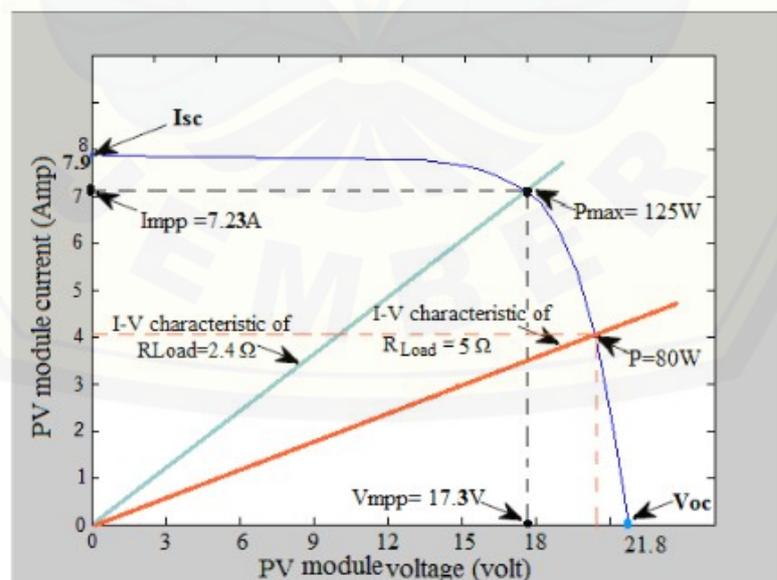
Maximum power point tracking adalah sistem elektronik yang mengontrol sistem photovoltaic sehingga *photovoltaic* dapat beroperasi pada daya maksimum. *MPPT* bukanlah sistem pelacakan mekanis, namun kontrol elektronik yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada *photovoltaic*.

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 *output*nya 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 system *MPPT* untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya (Atar Fuady Babgei).



Gambar 2.9 Perubahan Titik Kerja PV Akibat 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 2.9 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 2.2 Karakteristik Utama Metode – Metode MMPT

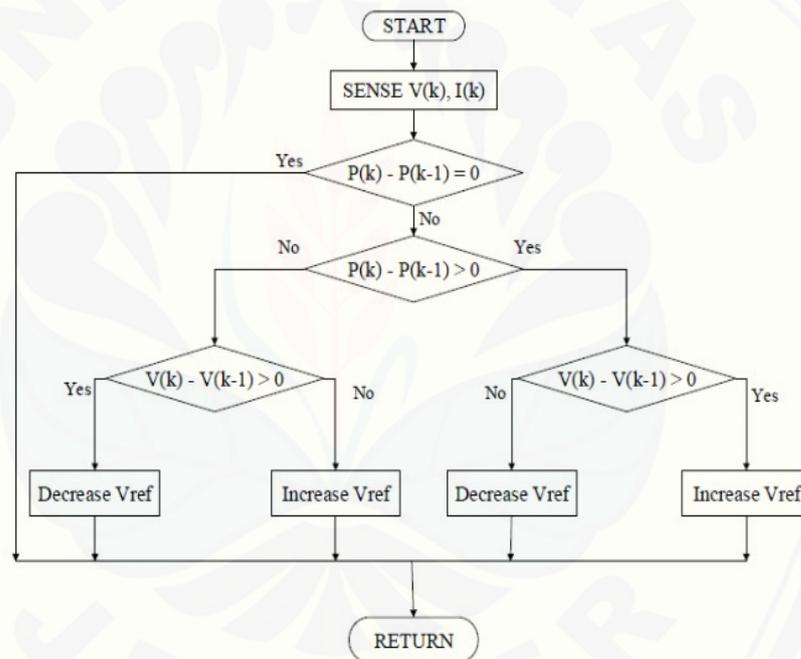
Sumber: Esram & Champman, 2007

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

2.8 Perturb and Observe

Perturb and Observe merupakan salah satu algoritma maximum power point tracking. *Perturb and Observe* adalah algoritma yang banyak digunakan secara luas untuk mencari nilai optimal dari PV, karena hanya menggunakan sedikit parameter yang dituning dan struktur algoritma yang sederhana. Untuk kondisi

praktikal, algoritma ini cukup handal digunakan dan memiliki respon yang selalu beresilasi didekat nilai optimalnya (MPP). Metode P&O ini bekerja berdasarkan teknik gangguan (peturbation) pada sistem dengan cara menambah atau mengurangi tegangan referensi (V_{ref}) sesuai dengan responnya yang diubah melalui parameter dutycycle kemudian dilakukan pengamatan (observation) terhadap respon daya yang keluar dari modul PV. Ketika besarnya nilai daya saat ini $P(k)$ dari modul PV lebih besar daripada besarnya daya sebelumnya $P(k-1)$ maka arah dari parameter gangguan akan tetap dijaga, namun jika tidak maka arah dari parameter gangguan akan bergerak terbalik dari arah sebelumnya. Gambar 2.10 menunjukkan cara dari algoritma P&O.



Gambar 2.10 Flowchart Algoritma Perturb and Observe.(Zuliari, 2017)

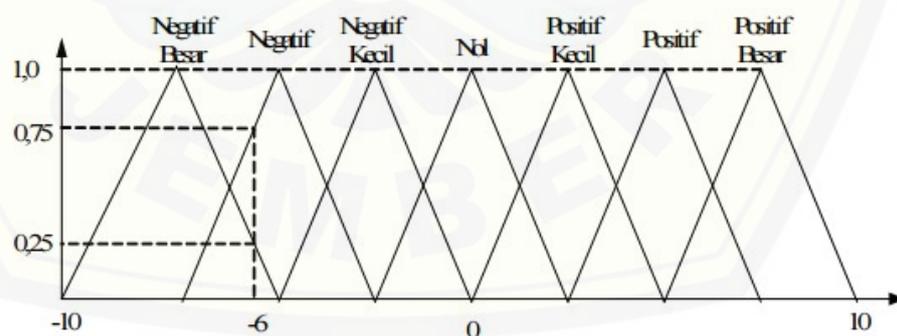
Algoritma ini dimulai dengan pengukuran nilai tegangan arus dari panel surya sehingga akan diperoleh nilai dayanya. Nilai daya pengukuran saat ini dibandingkan dengan pengukuran daya sebelumnya. Jika selisih kedua pengukuran ini = 0 maka nilai tegangan, arus dan dayanya akan dijadikan nilai terbaru (update). Tetapi jika nilai selisih dayanya tidak sama dengan 0 maka akan diberikan penambahan dan pengurangan tegangan sesuai dengan tegangan

referensi yang ditentukan. Dari perturb tegangan ini akan didapatkan nilai daya terbaru.

2.9 Fuzzy

Fuzzy adalah konsep himpunan yang pertama kali dikembangkan oleh Zadeh pada tahun 1965. Meskipun konsep dari himpunan *fuzzy* dikembangkan di Amerika, penggunaan *fuzzy* paling banyak diadaptasi dan dikembangkan di Jepang untuk diaplikasikan kedalam sistem kendali atau sistem kecerdasan buatan. Logika *fuzzy* pada umumnya diterapkan pada permasalahan - permasalahan yang memiliki unsur *uncertainty* (ketidakpastian) atau abu – abu serta *imprecise* (ketidaktepatan), *noisy*.

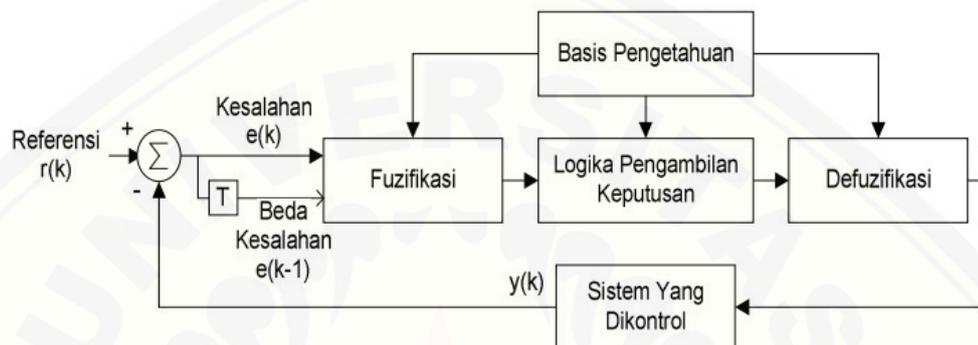
Logika *fuzzy* memiliki cara kerja yang didasarkan pada aturan linguistik yang biasa digunakan oleh manusia atau lebih spesifiknya mirip dengan instruksi yang berasal dari seorang operator dalam melakukan kendali. Dalam kinerja dari pengendalian tersebut, perintah atau instruksi didefinisikan dengan linguistik bukan dengan angka. Berhasil atau tidak tergantung dari pengalaman yang dimiliki oleh operator dan untuk mendapatkan pengalaman tersebut membutuhkan coba – coba dan waktu. Begitu juga dalam logika *fuzzy*, tidak ada istilah pendeskripsian yang baku untuk dapat menentukan sebuah sistem kontrol dari *fuzzy* tersebut dapat berkerja dengan hasil yang memuaskan.



Gambar 2.11 Model Lingsuitik *Fuzzy*.
(P, Wicaksono, I, Setiawan, Darjat, 2008)

Pada logika *fuzzy*, terdapat beberapa parameter yang dapat diatur guna menghasilkan *plan* yang sesuai dengan kita, diantaranya adalah semesta pembicaraan, agregasi *rule*, basis dari aturan *fuzzy*, bentuk fungsi tipe

keanggotaan dan metode dalam implikasi serta metode *defuzifikasi* yang akan digunakan. Basis pengetahuan pada logika *fuzzy* berisikan tentang pengetahuan - pengetahuan dari sistem kontrol yang akan dijadikan referensi dalam mengevaluasi keadaan sistem yang sudah didesain untuk menghasilkan *output* kontrol yang sesuai dengan yang diharapkan oleh perancang. Basis pengetahuan dari sistem ini tersusun oleh basis-basis data dan basis-basis aturan (*rule*).

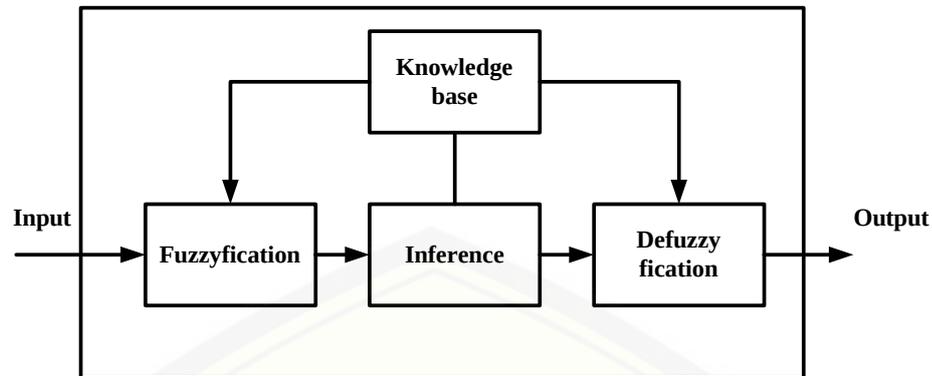


Gambar 2.12 Blok Diagram Fuzzy Secara Keseluruhan
(P, Wicaksono, I, Setiawan, Darjat, 2008)

Himpunan *fuzzy* sebenarnya dibentuk oleh variabel-variabel linguistik dengan jumlah dan jenis himpunan yang ditentukan pada saat proses perencanaan suatu *plan*. Sedangkan basis dari aturan atau *rule fuzzy* memiliki simbol dengan sintak „IF-THEN“ yang merupakan himpunan dari kondisi suatu pernyataan aturan - aturan. Penentuan ini didasarkan kepada pengetahuan pakar. Sedangkan untuk proses *defuzzifikasi* adalah proses dari pengubahan nilai *fuzzy* menjadi nilai yang berbentuk himpunan-himpunan keluaran *fuzzy* berdasarkan *membership function* yang telah didesain untuk menghasilkan kembali bentuk tegasnya. Proses ini sangat diperlukan, karena pada suatu *plant*, suatu hanya dapat mengenal nilai defuzifikasi tersebut sebagai nilai sebenarnya yang nantinya nilai tersebut akan digunakan untuk proses regulasi.

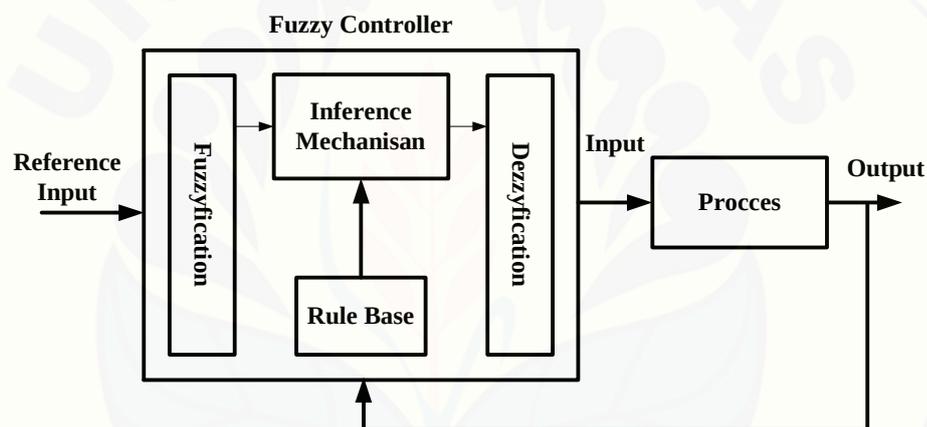
2.9.1 Tahap Pemodelan Dalam *Fuzzy Logic*

Berikut adalah tahap pemodelan dalam *fuzzy logic* yang disajikan dalam blog diagram :



Gambar 2.13 Blok Diagram Sistem Fuzzy 1

Dari blok diagram di atas, bila diterapkan dalam pengendalian suatu proses dapat kita gambarkan seperti blok diagram di bawah ini :



Gambar 2.14 Blok Diagram sistem Fuzzy 2

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy, yaitu:

a. *Variable fuzzy*

Variabel fuzzy merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Contoh: umur, temperatur, permintaan, dsb.

b. *Himpunan fuzzy*

Variabel fuzzy merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Contoh: umur, temperatur, permintaan, dsb.

c. *Semesta Pembicaraan*

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari

kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Adakalanya nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya.

Contoh :

- Semesta pembicaraan untuk variabel umur: $[0 + 8)$
- Semesta pembicaraan untuk variabel temperatur: $[0 40]$

d. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan.

2.9.2 Struktur Dasar *Fuzzy Logic Controller*

Kontroler logika *fuzzy* dikategorikan dalam kontrol cerdas (*intelligent control*). Unit logika *fuzzy* memiliki kemampuan menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks, yang tidak dimiliki oleh kontroler konvensional. Secara umum kontroler logika *fuzzy* memiliki kemampuan sebagai berikut :

- 1) Beroperasi tanpa campur tangan manusia secara langsung, tetapi memiliki efektifitas yang sama dengan kontroler manusia.
- 2) Mampu menangani sistem-sistem yang kompleks, non-linier dan tidak tasioner.
- 3) Memenuhi spesifikasi operasional dan kriteria kinerja.
- 4) Strukturnya sederhana, kokoh dan beroperasi *real time*.

A. Himpunan *Fuzzy*

Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , yang sering ditulis dengan $\mu [x]$, memiliki 2 kemungkinan yaitu:

- Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau
- Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Kalau pada himpunan *crisp*, nilai keanggotaan hanya ada 2 kemungkinan, yaitu 0 atau 1, pada himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan terletak pada rentang 0

sampai 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu[x]=0$ berarti x tidak menjadi anggota himpunan A , demikian pula apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu_A[x]=1$ berarti x menjadi anggota penuh pada himpunan A .

Terkadang kemiripan antara keanggotaan *fuzzy* dengan probabilitas menimbulkan kerancuan. Keduanya memiliki nilai pada interval $[0,1]$, namun interpretasi nilainya sangat berbeda antara kedua kasus tersebut. Keanggotaan *fuzzy* memberikan suatu ukuran terhadap pendapat atau keputusan, sedangkan probabilitas mengindikasikan proporsi terhadap keseringan suatu hasil bernilai benar dalam jangka panjang. Misalnya, jika nilai keanggotaan suatu himpunan *fuzzy* MUDA adalah 0,9. Maka tidak perlu dipermasalahkan berapa seringnya nilai itu diulang secara individual untuk mengharapkan suatu hasil yang hampir pasti muda. Di lain pihak, nilai probabilitas 0,9 muda berarti 10% dari himpunan tersebut diharapkan tidak muda. Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut yaitu :

- a) *Linguistik*, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan suatu kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti : MUDA, PAROBAYA, TUA.
- b) *Numeris*, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti : 40, 25, 50, dsb.

B. Fungsi Keanggotaan

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan.

- a) Representasi Linear
- b) Representasi Kurva Segitiga
- c) Representasi Kurva Trapesium
- d) Representasi Kurva Bentuk Bahu
- e) Representasi Kurva-S
- f) Representasi Kurva Bentuk Lonceng (*Bell Curve*)

g) Koordinat Keanggotaan

C. Operator Dasar Operasi Himpunan Fuzzy

a) Operator AND

Diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min (\mu_A[x], \mu_B[y])$$

b) Operator OR

Diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen ada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max (\mu_A[x], \mu_B[y])$$

c) Operator NOT

Diperoleh dengan mengurangkan nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A^c} = 1 - \mu_A[x]$$

D. Fungsi Implikasi

Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy*. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah:

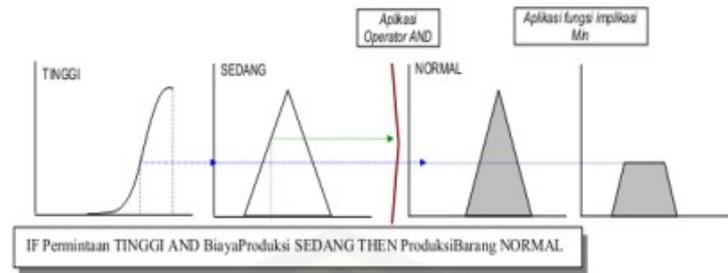
IF x is A THEN y is B

Dengan x dan y adalah skalar, dan A dan B adalah himpunan *fuzzy*. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut sebagai konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operator fuzzy, seperti:

IF (x₁ is A₁) • (x₂ is A₂) • (x₃ is A₃) (X_x is A_x) THEN y is B

Dengan • adalah operator (misal: OR, AND atau NOT).

Min (*minimum*). Fungsi ini akan memotong *output* himpunan *fuzzy*. Gambar di bawah menunjukkan salah satu contoh penggunaan fungsi min.



Gambar 2.15 Grafik Fungsi Min.

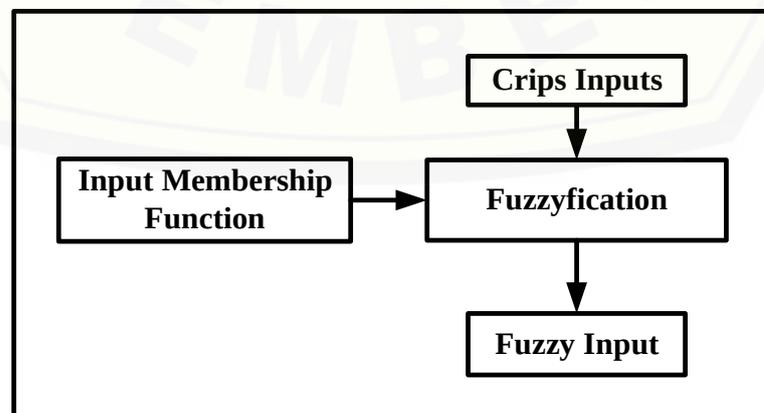
(Sumber : Sri Kusumadewi)

2.9.3 Fuzzification

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 basis pengetahuan, dimana terdiri dari fakta (*data base*), dan kaidah atur (*rulebase*).



Gambar 2.16 Fuzzyfication

2.9.4 Rule Evaluation

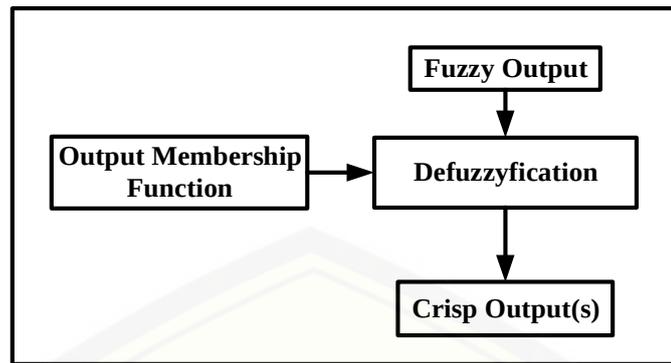
Prosedur *fuzzifikasi* merupakan proses untuk mengubah variabel *non fuzzy* (variabel *numerik*) menjadi variabel *fuzzy* (variabel *linguistik*). Nilai *error* dan *delta error* yang dikuantisasi sebelumnya diolah oleh kontroler logika *fuzzy*, kemudian diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. 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:

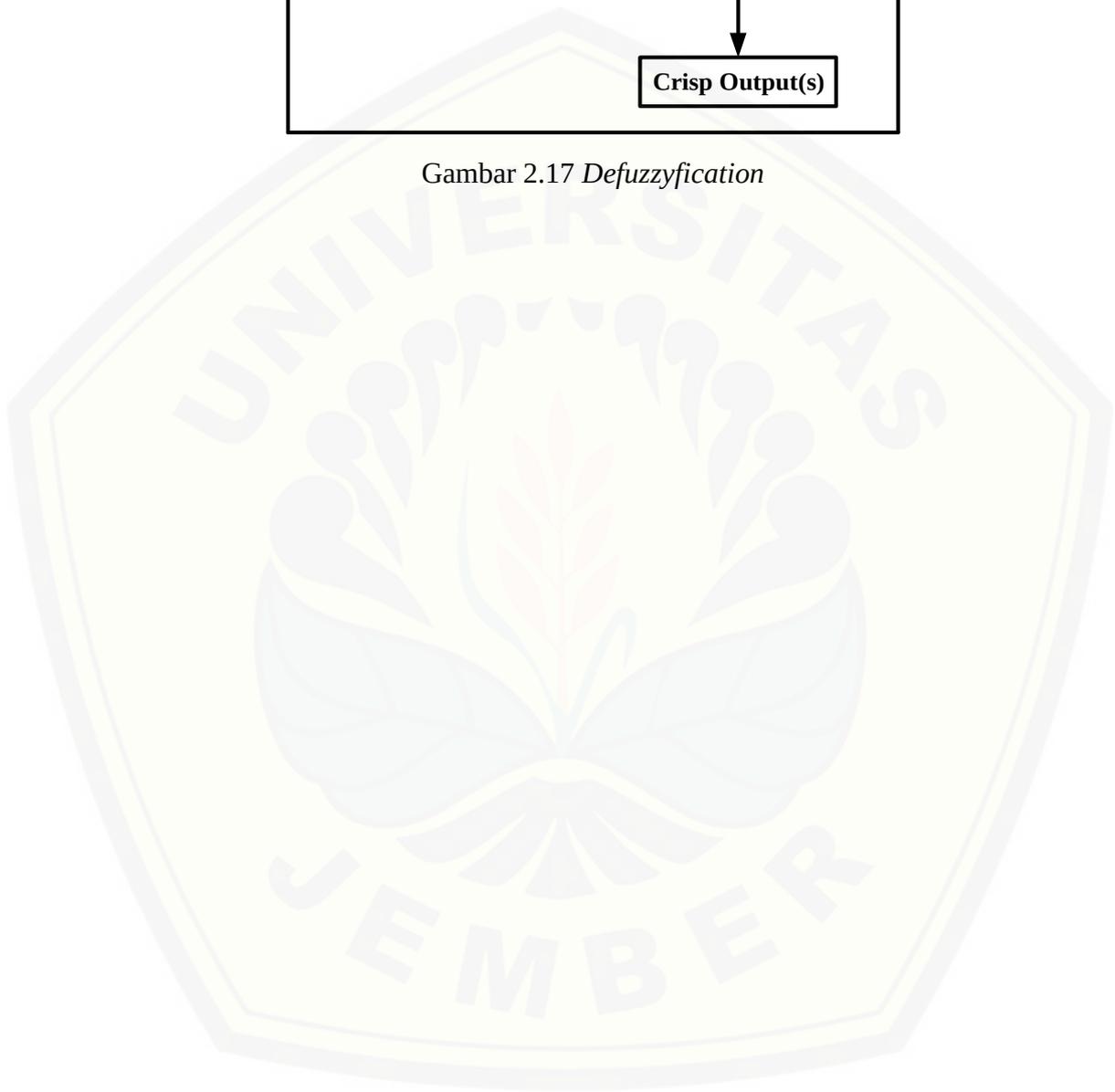
1. Model Mamdani
2. Model Sugeno

2.9.5 Defuzzification

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses pengubahan 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 2.17 Defuzzification



BAB 3. METODE PENELITIAN

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

3.1 Rancangan Penelitian

3.1.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan membuat rancang bangun. Rancang bangun ini bertujuan mengambil data mengenai sistem pengisian baterai VRLA menggunakan *Solar Cell*. Proses yang terjadi yaitu tegangan keluaran dari panel surya akan masuk pada *Buck Converter* yang diatur berdasarkan *duty cycle* yang kemudian digunakan untuk menurunkan dan menstabilkan tegangan pengisian sesuai kriteria pada baterai atau aki. Selanjutnya, pada proses pengisian ini di tambahkan dengan metode kontrol yaitu dengan *portrube & observe - fuzzy*.

3.1.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian dan analisis dilakukan secara umum dilakukan di :

Tempat : *Center For Development Of Advanced Sciences And Technology (CDAST)*, Universitas Jember

Alamat : Jl. Kalimantan No.37, Kampus Tegalboto Jember

Waktu : November 2019 – Februari 2020

3.1.3 Perencanaan Jadwal Penelitian

Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan Ke-/Minggu															
		Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

1.	Studi Literatur																		
2.	Penelitian																		
3.	Analisis Data																		
4.	Pembahasan																		
5.	Pembuatan Laporan																		

Keterangan :

■ : Kegiatan dilaksanakan

3.1.4 Alat dan Bahan

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

Alat :

1. Obeng
2. Solder
3. Multimeter

Bahan :

1. 1 buah Panel Surya 100 wp Polycrystalline .
2. Arduino
3. *Buck Converter*
4. *Battery / ACU*
5. *Modul data logger* dan RTC
6. Memori *Micro SD*
7. Timah
8. Sensor Arus
9. Sensor Tegangan
10. Resistor Kapur
11. Potensio
12. Solar power meter
13. Push button
14. LCD 16 x 2 + I2C

15. Jumper

16. Besi pipih

3.2 Jenis dan Sumber Data

3.2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh oleh penulis melalui dua bagian yaitu:

1. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

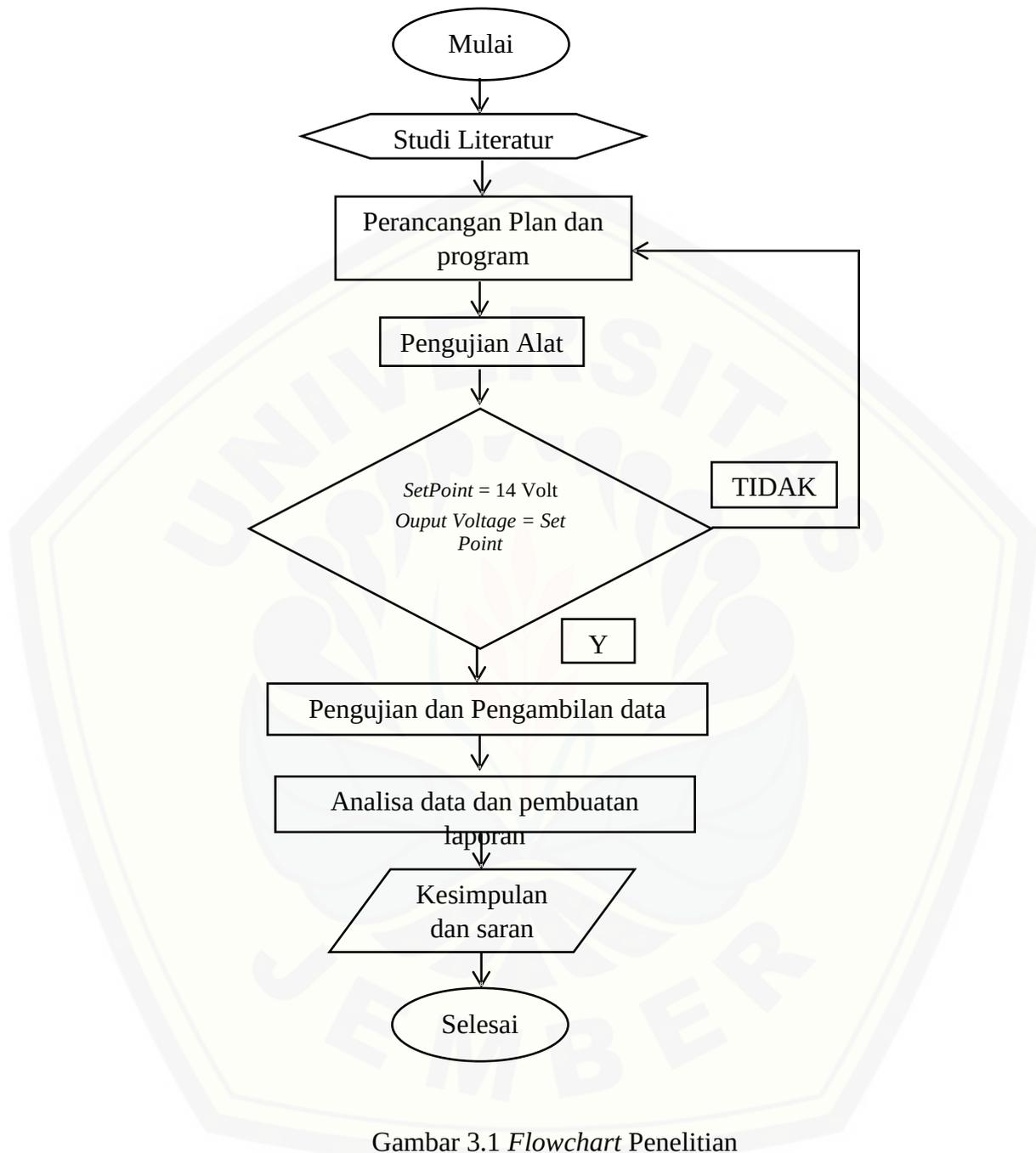
Penelitian kepustakaan atau juga sering disebut studi pustaka merupakan proses pengambilan data baik untuk latar belakang ataupun landasan teori yang berasal dari buku-buku, internet, *International Journal*, jurnal nasional, maupun *e-book*. Data-data yang ada dikumpulkan secara selektif sesuai dengan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

2. Penelitian Observasi Langsung (*Direct Observation*)

Penelitian ini dilakukan dengan cara terjun langsung ke lapangan. Untuk penelitian kali ini tempat yang akan dilakukan penelitian adalah Laboratorium Fakultas Teknik, Patrang, Jember, Jawa Timur, Indonesia. Pada proses penelitian ini berfungsi untuk mengambil data yang dibutuhkan secara langsung yaitu data tegangan yang dihasilkan oleh panel surya serta data tegangan yang telah melalui *Buck Converter* dengan *P&O - Fuzzy Logic Controller* yang akan digunakan untuk pengisian baterai.

3.2.2 Kerangka Pemecahan Masalah

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



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian “RANCANG BANGUN MAXIMUM POWER POINT TRACKING MENGGUNAKAN DC - DC BUCK CONVERTER UNTUK SOLAR CHARGER BERBASIS PERTURB & OBSERVE – FUZZY” adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

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

2. Perancangan plan dan sistem kontrol

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

3. Percobaan pengujian

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

4. Pembuatan program pada arduino

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

5. Pengujian dan pengambilan data

Tahap kelima adalah pengujian dan pengambilan data dari sistem kontrol yang telah dibuat pada keseluruhan plan, dimana pada pengujian plan tersebut dilakukan pengisian pada baterai aki dengan tegangan 12 *Volt*.

6. Analisa data dan pembuatan laporan

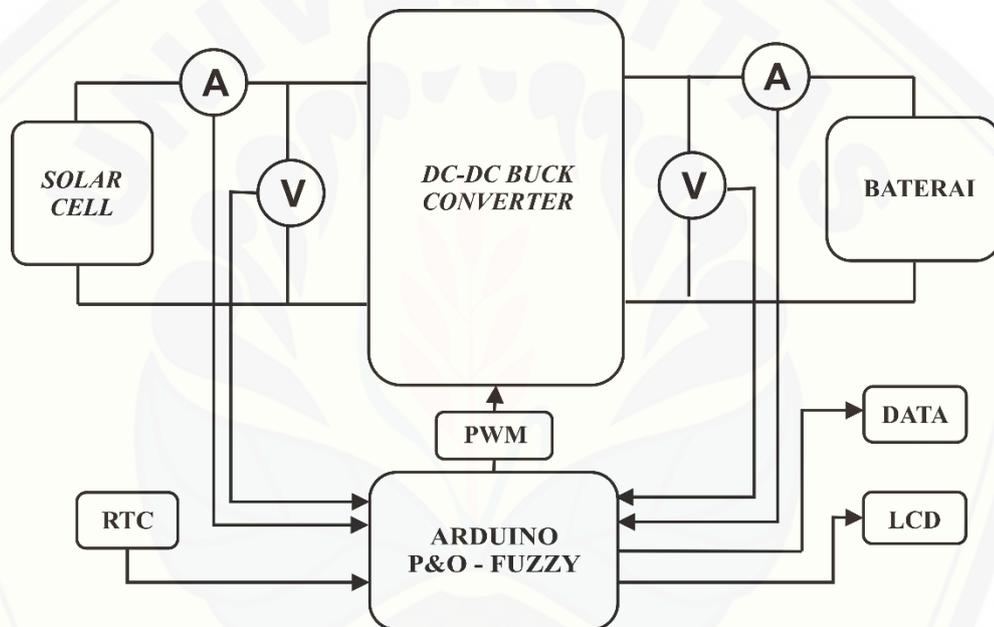
Tahap keenam adalah melakukan analisa pada data yang diperoleh dan membuatnya menjadi sebuah bentuk laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

7. Kesimpulan dan saran

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

3.2.3 Blok Diagram Sistem

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



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

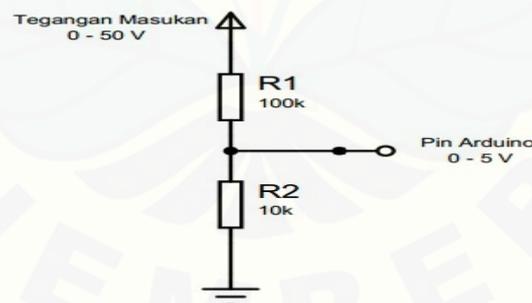
Pada dasarnya prinsip kerja dari sistem pengisian baterai menggunakan *solar cell* berbasis arduino, dapat dilihat dari gambar 3.2 yang merupakan gambaran dari blok diagram sistem secara keseluruhan. Panel surya yang digunakan dalam *plan* ini yaitu panel surya 100 wp *polycrystalline* sebanyak 1 buah. Maka *output* dari panel surya tersebut yaitu sebesar 17 V sampai 21 V , sedangkan untuk melakukan *charge* terhadap sebuah battery maka harus menggunakan tegangan 14 V . Maka dari itu diperlukan *Buck Converter* untuk menurunkan tegangannya. *Buck Converter* mengatur besarnya berdasarkan *duty cycle*, sedangkan *duty cycle* diatur oleh sebuah kontrol yang berupa arduino uno

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

3.3 Perancangan Komponen Pengendali (*Hardware*)

3.3.1 Sensor Tegangan

Pada penelitian kali untuk penggunaan resistor sebesar 30 k Ω digantikan dengan menggunakan tiga buah resistor sebesar 10 k Ω yang di susun secara seri karena untuk resistor sebesar 30 k Ω sukar dicari dipasaran. Skema rangkaian sensor tegangan dapat dilihat pada gambar

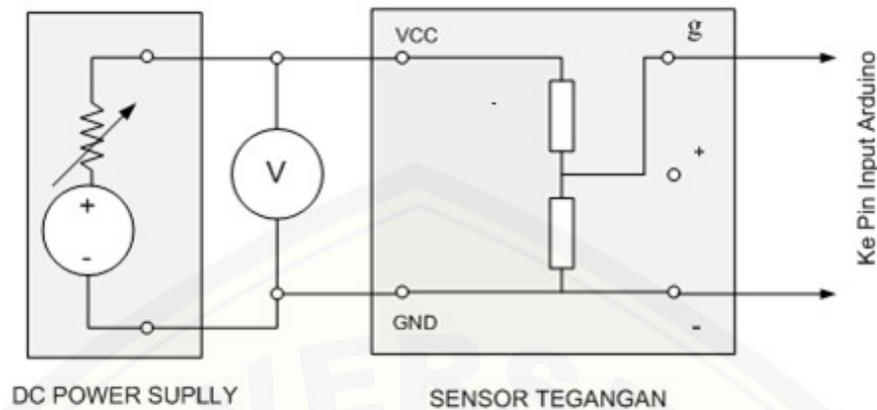


Gambar 3.3 Skematik Sensor Tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini dapat dilihat seperti pada persamaan 3.3

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (7.1)$$

Sedangkan untuk pengujian pada sensor tegangan ini sendiri dilakukan dengan cara seperti yang terlihat pada gambar 7.4.



Gambar 3.4 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

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

3.2.3.1 Arduino

Arduino sebagai kontroler yang digunakan dalam *plant*. Pada tahanan penjelasan tentang arduino akan menjadi lebih spesifik, terutama dalam penggunaannya yaitu sebagai *embedded system*. Arduino yang digunakan yaitu dengan tipe arduino dimana *embedded system* ini yang menerima *feedback* tegangan dari *output* tegangan *Buck Converter*. Pembacaan nilai *output* tegangan *Buck Converter* ini melalui sensor tegangan yang menggunakan proses ADC dan terhubung pada pin arduino yaitu pada pin A0. Untuk ADC sendiri pada arduino terdapat pada pin A0-A5. Sedangkan untuk pin yang mengontrol *output* PWM pada *Buck Converter* menggunakan pin 9. Pada arduino sendiri untuk pin-pin yang dapat mengontrol PWM yaitu terdapat pada pin 3, 5, 6, 9 dan 10 (Arduino LLC, 2015). Pada tahap ini, pengujian *embedded system* dilakukan dengan mencoba menghubungkan pada pin arduino yang diinginkan karena tidak jarang pin pada arduino juga tidak dapat digunakan dengan sehingga dibutuhkan pengecekan ulang, seperti penerimaan pembacaan ADC oleh sensor.

3.3.3 Spesifikasi Panel Surya 100 Wp

Panel Surya yang digunakan 100 Wp *Polycrystallin* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystallin* yang menghasilkan daya listrik yang sama. Solar Panel ini memiliki susunan kristal secara acak dan diproduksi dengan proses pencetakan / pembentukan. Dengan bentuknya yang persegi, maka kerapatan *polycrystallin* cukup bagus dan mampu mendapatkan energi dari matahari walaupun matahari tertutup awan (cuaca mendung).



Gambar 3.5 Panel Surya 100 Wp *Polycrystalline*

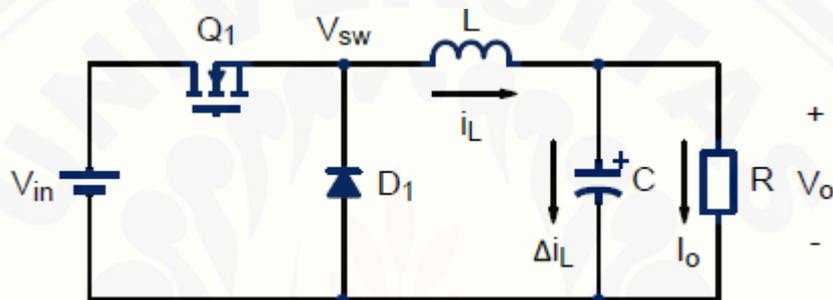
Tabel 3.2 Spesifikasi Surya 100 Wp *Polycrystalline*

Spesifikasi	Keterangan
Max. Power (Pmax)	100 Wp
Max. Power Voltage (Vmp)	17,8 V
Max. Power Current (Imp)	5.62 A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.8 V
Short Circuit Current (Isc)	6.05 A
Temperature Range	-4°C - 85°C
Max. System Voltage	1000V DC

Pada tabel 3.2 dijelaskan tentang spesifikasi dari panel surya 100 Wp *Polycrystalline* daya maksimum yang dihasilkan panel 100 Watt.

3.3.4 Perencanaan *Buck Converter*

Pada penelitian ini digunakan DC/DC *converter* dengan jenis *Buck Converter* yang mempunyai prinsip kerja menurunkan tegangan dengan konsep *switching PWM* mengatur *duty cycle*. Rangkaian dari *buck converter* seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3.6 Rangkaian *Buck Converter*

Pada gambar 3.6 merupakan gambar rangkaian dasar dari *Buck Converter* dimana terdapat beberapa komponen dasar yakni dioda, resistor, induktor, kapasitor dan mosfet. Untuk mendesain DC/DC *Buck Converter* diperlukan beberapa parameter utama, yaitu spesifikasi dari *converter* tersebut. Spesifikasi tersebut disesuaikan dengan spesifikasi panel surya yang digunakan dan kapasitas baterai yang digunakan sehingga didapatkan komponen ideal sehingga. Berikut ini spesifikasi DC/DC *Buck Converter* yang akan dibuat :

- a. Perhitungan *Duty Cycle*

$$D_{\min} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{4.8}{5.1} = 0,935$$

$$D_{\max} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{4.8}{7.2} = 0,666$$

- b. Perhitungan kapasitas *Inductor Continuous Conduction Mode*.

$$\begin{aligned} \text{Besar peak to peak ripple currents } \Delta I_1 &= 30\% \times I_{out}. \\ &= 30\% \times 4.8 \text{ A} \\ &= 1.44\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besar Induktor} \quad L_{\min} &= D \frac{(\quad)}{\quad} \\ &= 0.935 \cdot \frac{(\quad)}{\quad} \\ &= 0.103 \cdot 10^{-4} \text{ H} \end{aligned}$$

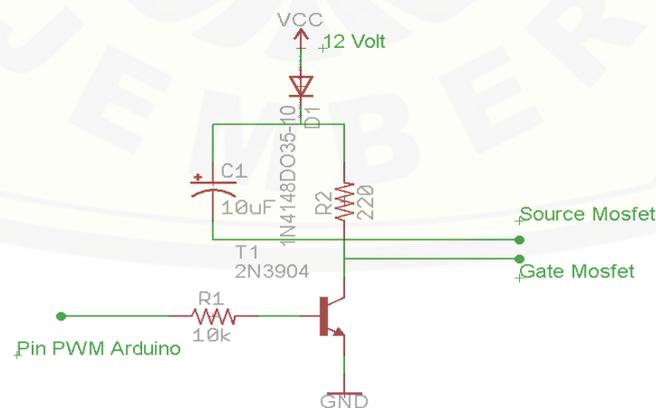
c. Perhitungan Kapasitas Kapasitor *Continuous Conduction Mode*.

$$\begin{aligned} \text{Besar peak to peak ripple voltages} \quad \Delta V_1 &= 1\% \times V_o \\ &= 1\% \times 14 \\ &= 0,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besar kapasitor} \quad C_{out \min} &= \frac{\quad}{\quad} \\ &= \frac{\quad}{\quad} \\ &= 0.203 \cdot 10^{-4} \text{ F} \end{aligned}$$

d. Rangkaian Driver

Rangkaian driver berguna sebagai pemisah antara rangkaian daya dengan rangkaian kontrol pada buck konverter dan sebagai menguatkan sinyal pemicu / sinyal PWM yang dikeluarkan dari pin 6 arduino untuk memicu penyulutan saklar semikonduktor pada rangkaian daya. Saklar semikonduktor akan membuka secara sempurna jika mendapat duty cycle sebesar 100 % dengan tegangan sebesar 5 volt. Rangkaian driver dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini :



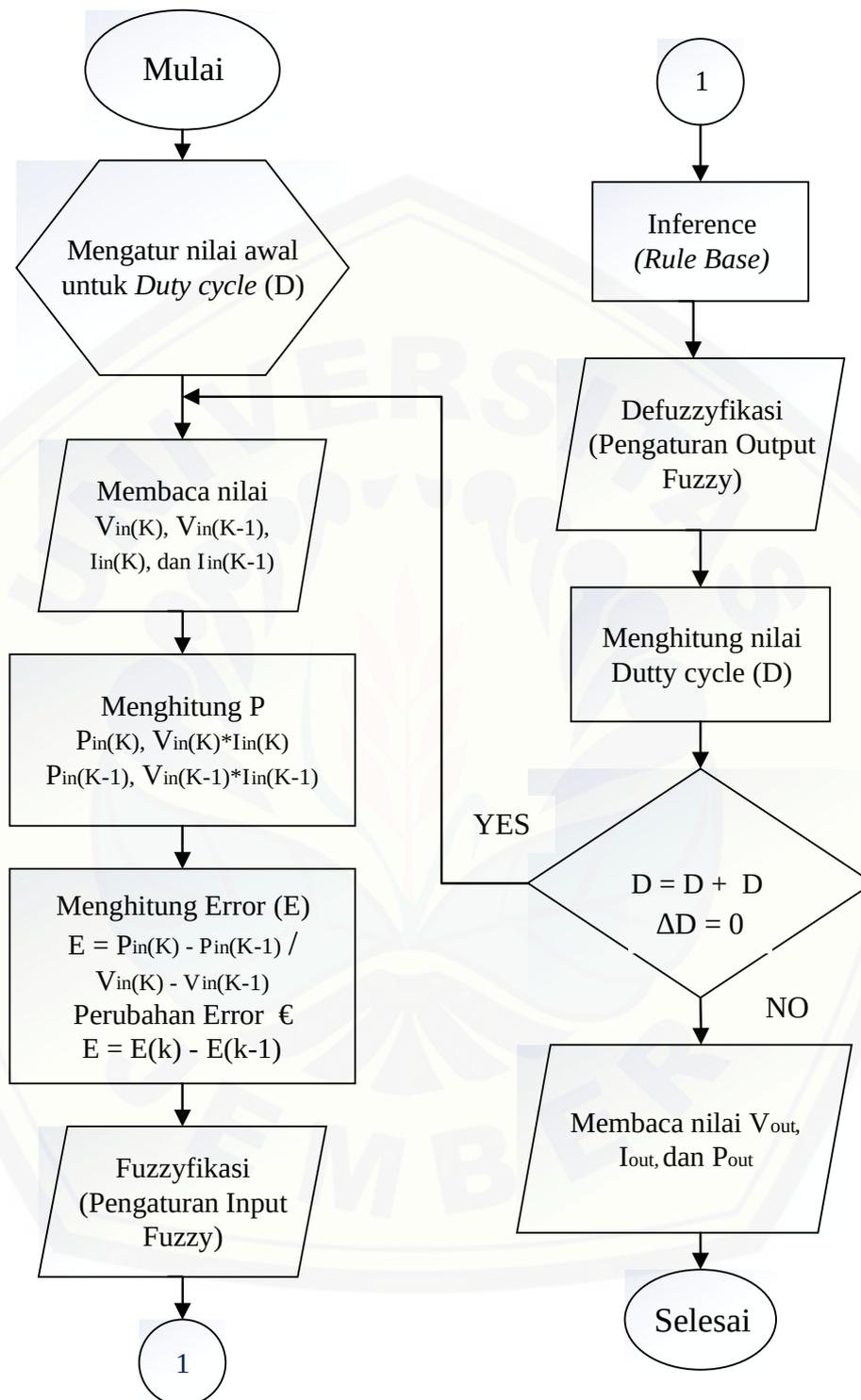
Gambar 3.7 Rangkaian Driver Mosfet

3.4 Desain Sistem Kontrol MPPT

3.4.1 Flowchart Kendali

Pada penelitian ini terdapat dua system berbeda yang berjalan secara bersamaan namun dengan daerah kerja yang berbeda untuk flowchart kendali pertama yaitu MPPT dengan algoritma *Perturb AND Observe* dengan kontrol logika Fuzzy.





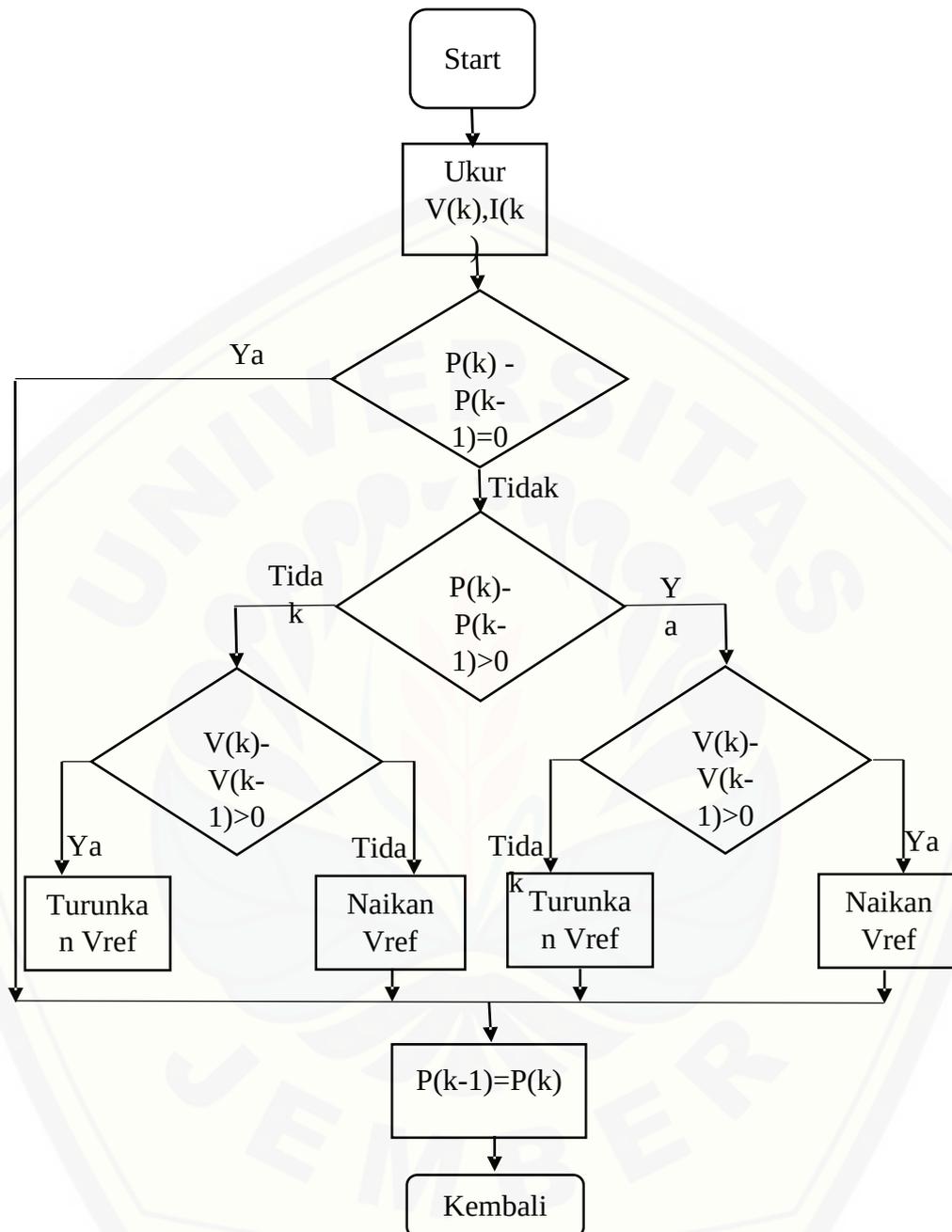
Gambar 3.8 Diagram Kontrol Perturb & Observe - Fuzzy

Dari gambar 3.8 tentang flowchart system MPPT di atas sebagai sebuah kontrol untuk mengendalikan nilai *duty cycle* berdasar nilai tegangan dan arus yang bisa di konversikan panel surya dari iradiasi matahari. Untuk pengaturan nilai *duty cycle* diperlukan algoritma dan kontrol cerdas sehingga penambahan nilai *duty cycle* di ikuti dengan penambahan nilai daya yang semakin meningkat. Proses perancangan kendali akan dijelaskan sebagai berikut :

3.4.2 Perencanaan Metode *Perturb & Observe*

Algoritma P&O ditunjukan dengan diagram alir dalam gambar 3.9. Penjelasan diagram alur dijelaskan pertahap sebagai berikut :

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

Gambar 3.9 Flowchart *Perturb & Observe*

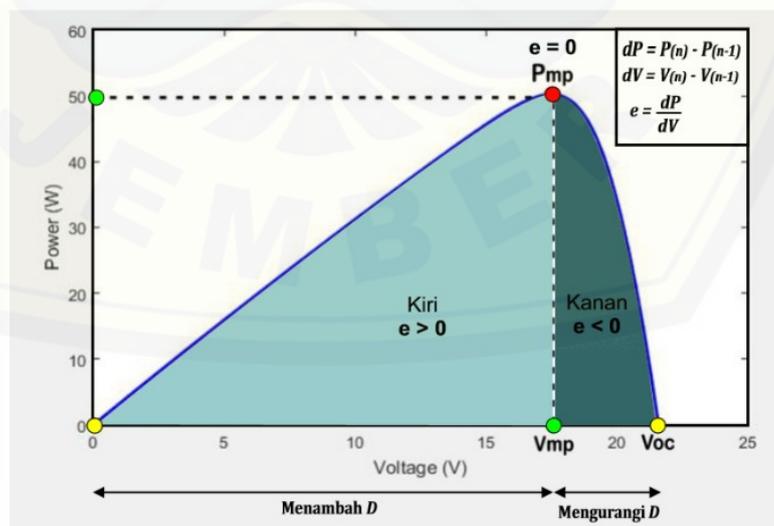
3.4.3 Perancangan Fuzzy

Perencanaan sistem kontrol *fuzzy* untuk DC/DC konverter dirancang secara sistematis. Beberapa tahapan dilakukan dalam merancang kontrol *fuzzy* diantaranya, dimulai dari tahap *fuzzifikasi*, *inferent*, dan *defuzzifikasi*.

1. Tahap Fuzzifikasi

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 Maksimm) 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 3.10.



Gambar 3.10. Daerah Kerja MPPT

Pada gambar 3.10 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 control 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 penggangguan (Rusminto Tjatur Widodo, 2010). Sehingga dari 3 titik kerja pada algoritma tersebut dibuat 3 buah *membership function* pada *input* dan *output* untuk mempermudah kerja control 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 3.3 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)

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

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

$$E_{max} = \frac{\Delta P}{\Delta V} = \frac{50}{17,5} = 2,86$$

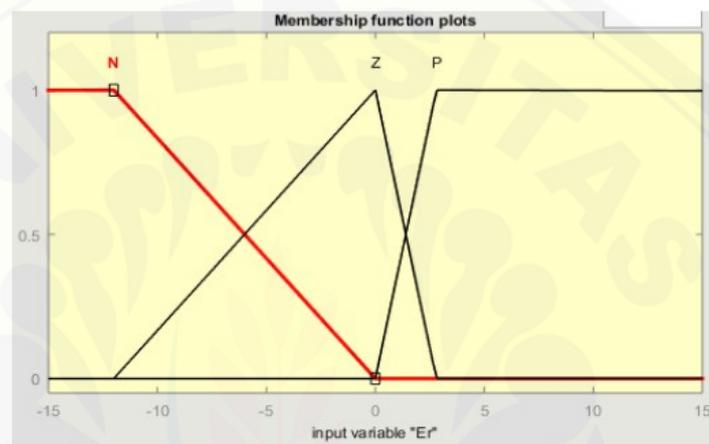
- Pada saat $E < 0$, (bernilai negatif dan berada di sebelah kanan titik MPP)

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

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

$$E_{min} = - \text{---} = \text{---} = - 12,2$$

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 3.11 *Membership Function Error (E)*

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

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

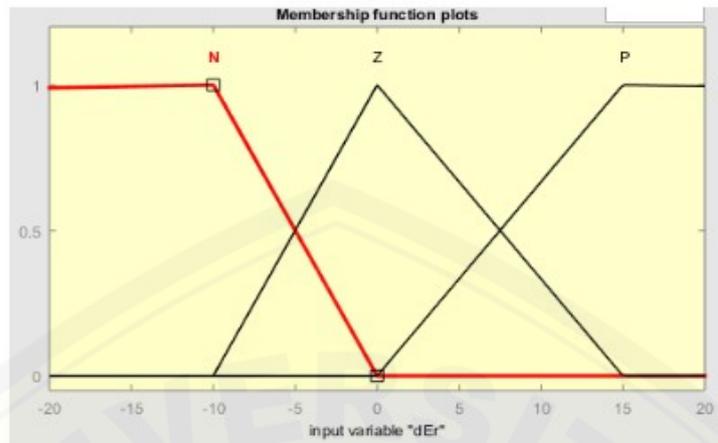
- Pada saat $E > 0$, (bernilai positif dan berada di sebelah kiri dari titik MPP)

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

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

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

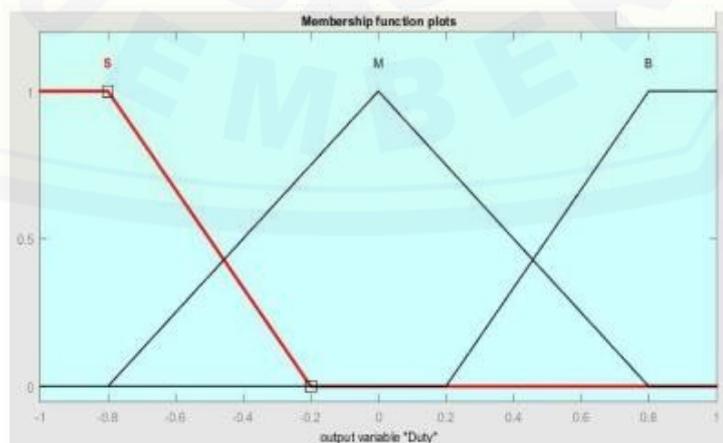
Dari perhitungan tersebut dapat diketahui untuk range nilai dari fungsi keanggotaan nilai *input Delta Error* yaitu berada pada range nilai -9,34 sampai dengan 15,06. Berikut adalah hasil perancangan *membership function Delta Error*



Gambar 3.12 *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 3.13 *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 3.4 *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* (\wedge) 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 α 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 α yang memiliki nilai tidak sama dengan 0.

🕒 Tahap defuzzyfikasi

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

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

- Perhitungan Luas daerah pada setiap daerah implikasi

$$A = \int_{a_1}^{a_2} \mu D.(z) dz$$

- Perhitungan Momen pada setiap daerah implikasi

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

$$Z^* = \frac{M}{A}$$

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*.

3.4.4 Perencanaan Baterai.

Pada penelitian ini akan digunakan baterai aki kering bertipe VRLA (Valve Regulated lead Acid). Baterai ini berfungsi sebagai beban yang akan menyimpan energy yang dihasilkan oleh panel surya. Spesifikasi dari baterai yang digunakan yaitu mempunyai tegangan nominal sebesar 12 volt dengan arus sebesar 7,5 Ah.

Baterai aki, terdiri dari beberapa sel. Baterai aki 12 Volt, terdiri dari 6 sel. Batas tegangan satu sel umumnya mulai dari 2.30V sampai 2.45V. Jadi baterai aki

12 Volt, tegangan sebenarnya adalah antara 13.8 V - 14.7 Volt. Kondisi baterai aki tergantung dari suhu. Suhu tinggi menyebabkan baterai cepat rusak. Pada saat charging baterai pada suhu ruangan melebihi 30 derajat celcius, tegangan yang direkomendasikan adalah 2.35V/sel. Pada saat charging, dan suhu ruangan tetap dibawah 30 derajat celcius, tegangan charger untuk masing-masing sel disarankan 2.40 sampai 2.45Volt.

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

Pada penelitian ini menggunakan panel surya 100 wp polycrystalline, batteray atau aki sebesar 12 volt dengan kapasitas arus 7,5 A dan arus pengisian sebesar kurang dari 2,25 A.

Perhitungan daya panel surya :

Peak 1 hari di asumsikan 4,5 jam ; 100 wp = $100 \times 4,5 = 450$ watt/hari

Lama pengisian baterai VRLA 12 volt 7,5 Ah

Lama pengisian=(Kapasitas baterai / Arus yang digunakan untuk *charge*)
x 60 menit (1 jam)

= (7,5 Ah / 1,5 A) x 60 menit

= 300 menit

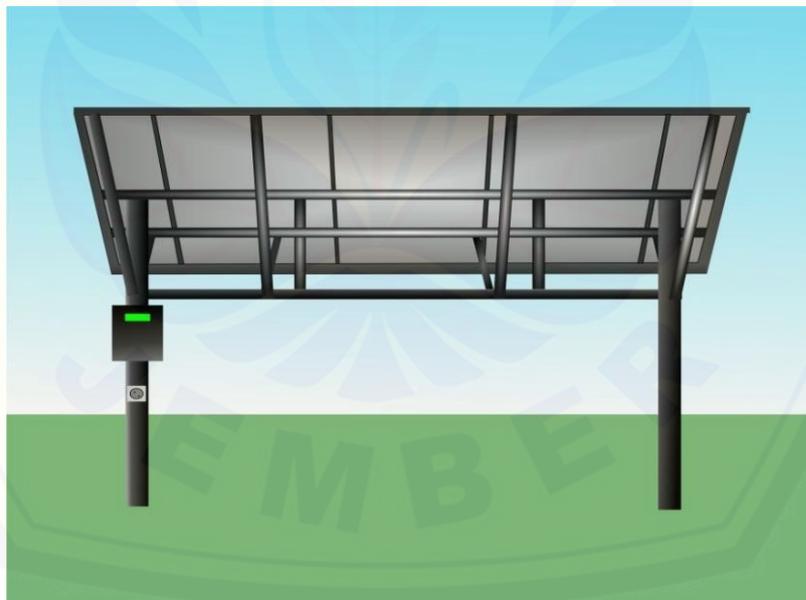
Lama supply beban / hari

Daya baterai 12 volt x 7,5 ah = 90 watt / hari

3.5 Desain Perancangan Secara Keseluruhan



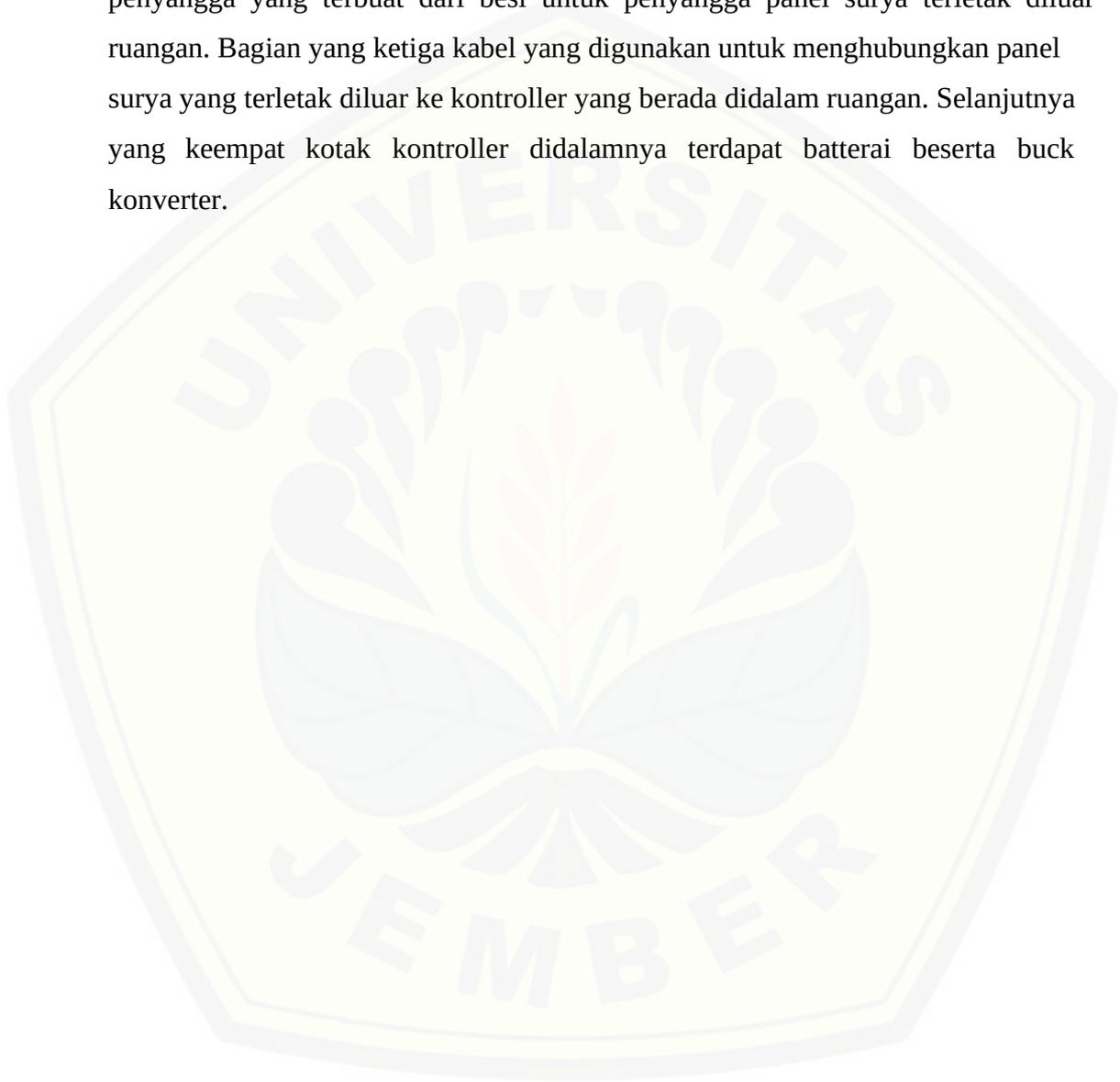
(a)



(b)

Gambar 3.14 Desain Alat 3D. Gambar (a) Merupakan desain tampak belakang,, dan (b) Tampak depan

Berdasarkan pada gambar 3.14 ada beberapa bagian pada design alat secara keseluruhan. Bagian yang pertama bagian panel surya dipasang di atas udara dengan kemiringan 10 derajat kearah utara. Bagian yang kedua tiang penyangga yang terbuat dari besi untuk penyangga panel surya terletak diluar ruangan. Bagian yang ketiga kabel yang digunakan untuk menghubungkan panel surya yang terletak diluar ke kontroller yang berada didalam ruangan. Selanjutnya yang keempat kotak kontroller didalamnya terdapat batterai beserta buck konverter.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa penelitian yang berjudul “Rancang Bangun *Maximum Power Point Tracking* Menggunakan *Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Perturb & Observe – Fuzzy*” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengujian *buck converter* tanpa kontrol, maka diketahui bahwa semakin kecil nilai hambatan yang diberikan, maka semakin besar drop tegangan yang akan terjadi, pada saat beban 39 Ohm terjadi drop tegangan sebesar 0.16 Volt sedangkan saat diberikan beban 15 Ohm terjadi drop tegangan sebesar 0.38 Volt.
2. Kestabilan tegangan dari *buck converter* dengan menggunakan kontrol algoritma P&O - *fuzzy* saat diberikan beban resistif yang semakin kecil maka *recovery time* yang dibutuhkan akan semakin lama, begitu juga sebaliknya saat beban yang diberikan semakin besar maka *recovery time* semakin cepat. Dimana saat beban 39 Ohm diperlukan *recovery time* 1.26 detik, dan saat menggunakan beban 15 Ohm diperlukan *recovery time* 2.13 detik.
3. Saat pengujian *buck converter* menggunakan beban baterai. Maka dapat diketahui bahwa tegangan awal *charge* mencapai *setpoint* yaitu sebesar 14 Volt. Sedangkan untuk arus charging akan semakin turun saat baterai semakin terisi penuh. Seperti yang terdapat pada tabel pengujian *buck converter* dengan menggunakan beban baterai.

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 control cerdas yang lain seperti *Partical Swarm Optimization*, *Ant Colony*, dan *ANFIS* dengan algoritma yang lain seperti *Incremental Conductance*.



DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral 2016. *Statistik Ketenagalistrik 2018*. Edisi No.29.Jakarta: Direktorat Jenderal Ketenagalistrika.
- Eakburanawat & Boonyaroonate. (2010). “ *Development Of 100 W High Efficiency MPPT Power Conditioner and Evaluation of TEG system With Battery Load*”. Tokyo National College of Technology.
- ESDM, M. (2018). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pengesahan RUPLT PT. PLN tahun 2018 S.D. 2025*. Jakarta: Menteri ESDM.
- Ian Laird, D. D.-C. (2013). *High Step-Up DC/DC Topology and MPPT Algorithm for Use With a Thermoelectric Generator*. IEEE.
- Irwin, J. D. (2002). *The Power Electronic Handbook*. california: CRC Press.
- Mahesh, G. N. M., Kiran Y., Parthasarthy S.S. 2014. Modelling of Buck DC-DC Converter Using Simulink. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*. 3: 14965- 14975.
- Nedumgatt, J.J, Jayakrishnan K.B 2009 “*Perturb & Observe MPPT algorithm for solar pv systems - modeling and simulation*”. Annasaheb Dange *College of Engineering* Vellore, India.
- N. Femia, et. Al. “Optimization of Perturb and Observe Maximum PowerPoint tracking Method,” IEEE Trans. Power Electron., Vol 20, pp.963-973, July 2005.
- S, S., & Joseph, J. (2016). Design and Implementation of SEPIC Converter based PV System Using Modified *Incremental conductance* Algorithm. *ICEEOT*.

- Yang, Zilong , Ye, Yunyue & Lu, Qinfen. 2014. *Design of Self Tuning Fuzzy PID Controller on PWM DC – DC Converter*. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang
- Weller. (2008). “Ag 2S quantum dot-sensitized solar cells”. *Electronics communication*.
- William, I. C., & Ramesh, D. R. (2013). Comparative Study of P&O and InC.
- Shiau, J.K., Wei, Y.C., & Chen, C.B. (2015). *A Study On The Fuzzy Logic Based Solar Power Mppt Algorithms Using Different Fuzzy Input Variables. Algorithms*. ISSN, 100-127.
- Rezoug, M.R., Chenni, R., & Taibi, D. (2018). *Fuzzy Logic Based Perturb And Observe Algorithm With Variable Step Of A Reference Voltage For Solar Permanent Magnet Synchronous Motor Drive System Fed By Direct Connected Photovoltaic Array. Energies*, 1-15.

LAMPIRAN

A. Listing program

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

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 20, 4);

int smooth = 500;
float arus1 = 0, arus2 = 0, teg1 = 0, teg2 = 0;
float PWMOut = 0;
int OutPin = 6;
int number = 14;

#include "fis_header.h"

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

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

void setup()
{
```

```
TCCR0B = TCCR0B & B11111000 | B00000001; // for PWM frequency of  
62.04 KHz
```

```
pinMode(OutPin, OUTPUT);
```

```
Serial.begin(9600);
```

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

```
lcd.init();
```

```
lcd.backlight();
```

```
lcd.clear();
```

```
lcd.setCursor(5, 0);
```

```
lcd.print("P&O - Fuzzy");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print("Vin:");
```

```
lcd.setCursor(10, 1);
```

```
lcd.print("Vout:");
```

```
lcd.setCursor(0, 2);
```

```
lcd.print("Iin:");
```

```
lcd.setCursor(10, 2);
```

```
lcd.print("Iout:");
```

```
lcd.setCursor(0, 3);
```

```
lcd.print("Pin:");
```

```
lcd.setCursor(10, 3);
```

```
lcd.print("Pout:");
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
  BacaSensor();
```

```
    bacaSerial();
    TampilLCD();
    KirimInfo();

    error = number - vout;
    g_fisInput[0] = error;
    g_fisInput[1] = errordelta;

    g_fisOutput[0] = 0;

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

    BacaSensor();
    errordelta = (number - vout) - error;
}

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

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

```
input[i++] = c;

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

number = atoi(input);

analogWrite(OutPin, number);
}
}
}

//*****
*****

// Support functions for Fuzzy Inference System
//*****
*****

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

```
// Triangular Member Function
```

```
FIS_TYPE fis_trmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
```

```
{  
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];  
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);  
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);  
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);  
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2 * (b <= x) * (x <= c));  
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1 * (a <= x) * (x <= b));  
    t1 = min(t1, t2);  
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);  
}
```

```
FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
```

```
{  
    return min(a, b);  
}
```

```
FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
```

```
{  
    return max(a, b);  
}
```

```
FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size, _FIS_ARR_OP  
pfnOp)
```

```
{  
    int i;  
    FIS_TYPE ret = 0;
```

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

ret = array[0];
for (i = 1; i < size; i++)
{
    ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
}

return ret;
}

//*****
// Data for Fuzzy Inference System
//*****

// Pointers to the implementations of member functions
_FIS_MF fis_gMF[] =
{
    fis_trapmf, fis_trimf
};

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

// Count of member function for each Output
```

```
int fis_gOMFCoeff[] = { 5 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { -15, -5, -4.7, -2.3 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { -3, -2, -0.2 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { -0.5, 0, 0.5 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff4[] = { 0.2, 2, 3 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff5[] = { 2.3, 4.7, 5, 15 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1, fis_gMFI0Coeff2,
fis_gMFI0Coeff3, fis_gMFI0Coeff4, fis_gMFI0Coeff5 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { -1, -1, -0.94, -0.46 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { -0.6667, -0.4, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff3[] = { -0.2667, 0, 0.2667 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff4[] = { 0, 0.4, 0.6667 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff5[] = { 0.46, 0.94, 1, 1 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1, fis_gMFI1Coeff2,
fis_gMFI1Coeff3, fis_gMFI1Coeff4, fis_gMFI1Coeff5 };
FIS_TYPE** fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff, fis_gMFI1Coeff };

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



```
int fis_gRI11[] = { 3, 2 };
int fis_gRI12[] = { 3, 3 };
int fis_gRI13[] = { 3, 4 };
int fis_gRI14[] = { 3, 5 };
int fis_gRI15[] = { 4, 1 };
int fis_gRI16[] = { 4, 2 };
int fis_gRI17[] = { 4, 3 };
int fis_gRI18[] = { 4, 4 };
int fis_gRI19[] = { 4, 5 };
int fis_gRI20[] = { 5, 1 };
int fis_gRI21[] = { 5, 2 };
int fis_gRI22[] = { 5, 3 };
int fis_gRI23[] = { 5, 4 };
int fis_gRI24[] = { 5, 5 };

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

// Rule Outputs
int fis_gRO0[] = { 1 };
int fis_gRO1[] = { 1 };
int fis_gRO2[] = { 1 };
int fis_gRO3[] = { 2 };
int fis_gRO4[] = { 3 };
int fis_gRO5[] = { 1 };
int fis_gRO6[] = { 1 };
int fis_gRO7[] = { 2 };
int fis_gRO8[] = { 3 };
```

```
int fis_gRO9[] = { 4 };
int fis_gRO10[] = { 1 };
int fis_gRO11[] = { 2 };
int fis_gRO12[] = { 3 };
int fis_gRO13[] = { 4 };
int fis_gRO14[] = { 5 };
int fis_gRO15[] = { 2 };
int fis_gRO16[] = { 3 };
int fis_gRO17[] = { 4 };
int fis_gRO18[] = { 5 };
int fis_gRO19[] = { 5 };
int fis_gRO20[] = { 3 };
int fis_gRO21[] = { 4 };
int fis_gRO22[] = { 5 };
int fis_gRO23[] = { 5 };
int fis_gRO24[] = { 5 };

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

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

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

// Output range Min
```

```
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { -0.5 };
```

```
// Output range Max
```

```
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 0.5 };
```

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

```
*****
```

```
// Data dependent support functions for Fuzzy Inference System
```

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

```
*****
```

```
FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE x, int o)
```

```
{
```

```
    FIS_TYPE mfOut;
```

```
    int r;
```

```
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
```

```
    {
```

```
        int index = fis_gRO[r][o];
```

```
        if (index > 0)
```

```
        {
```

```
            index = index - 1;
```

```
            mfOut = (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x, fis_gMFOCoeff[o][index]);
```

```
        }
```

```
        else if (index < 0)
```

```
        {
```

```
            index = -index - 1;
```

```
            mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x, fis_gMFOCoeff[o][index]);
```

```
        }
```

```
    else
```

```
{
    mfOut = 0;
}
fuzzyRuleSet[0][r] = fis_min(mfOut, fuzzyRuleSet[1][r]);
}
return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR, fis_max);
}
FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, int o)
{
    FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) / (FIS_RESOLUTION - 1);
    FIS_TYPE area = 0;
    FIS_TYPE momentum = 0;
    FIS_TYPE dist, slice;
    int i;

    // calculate the area under the curve formed by the MF outputs
    for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i) {
        dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
        slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
        area += slice;
        momentum += slice * dist;
    }
    return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2) : (momentum / area));
}

//*****
*****

// Fuzzy Inference System
```

```
/**
*****

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

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

    int index = 0;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
```

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

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

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

void KirimInfo() {
Serial.print(teg1);
Serial.print("|");
Serial.print(teg2);
Serial.print("|");
Serial.print(arus1);
Serial.print("|");
```

```
Serial.print(arus2);  
Serial.print("|");  
Serial.print(pin);  
Serial.print("|");  
Serial.print(pout);  
Serial.print("|");  
Serial.print(error);  
Serial.print("|");  
Serial.print(errordelta);  
Serial.print("|");  
Serial.print(g_fisOutput[0] * 25);  
Serial.print("|");  
Serial.print(PWMOut);  
Serial.print("|");  
Serial.println(number);  
delay(100);  
}  
  
void BacaSensor() {  
  arus1 = 0;  
  arus2 = 0;  
  teg1 = 0;  
  teg2 = 0;  
  
  for (int a = 0; a <= smooth; a++) {  
    arus1 += analogRead(A3);  
    arus2 += analogRead(A2);  
    teg1 += analogRead(A0);
```

```
teg2 += analogRead(A1);
}

arus1 = 0.09 * (arus1 / smooth) - 37.962;
arus2 = 0.0926 * (arus2 / smooth) - 39.077 ;
teg1 = 0.0545 * (teg1 / smooth) + 0.1303;
teg2 = 0.0524 * (teg2 / smooth) - 0.5639;
vin = teg1;
vout = teg2;
pin = teg1 * arus1;
pout = teg2 * arus2;

}

void TampilLCD() {
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print(teg1);
  lcd.setCursor(15, 1);
  lcd.print(teg2);
  lcd.setCursor(4, 2);
  lcd.print(arus1);
  lcd.setCursor(15, 2);
  lcd.print(arus2);
  lcd.setCursor(4, 3);
  lcd.print(teg1 * arus1);
  lcd.setCursor(15, 3);
  lcd.print(teg2 * arus2);
}
```

B. LAMPIRAN GAMBAR



Digital Repository Universitas Jember

