



**RANCANG BANGUN *CONSTANT CURRENT CHARGER* DARI
PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR
(PMSG) DENGAN KENDALI LOGIKA *FUZZY***

SKRIPSI

Oleh

Agam Patria Alam

NIM 161910101102

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**RANCANG BANGUN *CONSTANT CURRENT CHARGER* DARI
PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR
(PMSG) DENGAN KENDALI LOGIKA *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

Agam Patria Alam

NIM 161910101102

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT, atas segala limpahan rahmat nikmat, hidayah dan inayah-Nya sehingga berkesempatan menimba ilmu di Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Rasulullah Muhammad SAW, sebagai *uswah* terbaik sepanjang masa;
3. Kedua orangtuaku tercinta, Bapak Wadina, Ibunda Fatimahanum, dan Adik tercinta Uyun Nafa atas segala kasih sayang, motivasi, nasehat, dan bimbingan, serta doa setulus hati yang tiada henti diberikan sampai saat ini;
4. Guru-guru dan dosen saya dari taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi yang selalu menemani dan memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
5. Sahabat-sahabat saya yang selalu menemani dan memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
6. Semua dulur-dulur Ikatan Dulur Teknik Elektro 2016, Kakak tingkat, dan Adik tingkat yang telah berjuang bersama-sama di Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember tercinta ini;
7. Almamater Teknik Elektro Fakultas Teknik Univeristas Jember.

MOTTO

Happiness is not how much money we have, but how much time we can be thankful.

(Agam Patria Alam)

Knowledge is worth as much as gold

(Diska Fitri Amalia A, S.Kg)

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari segala urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan lain), dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.

(Q.S. Al Insyirah: 6-8)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : AGAM PATRIA ALAM

NIM : 161910201102

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: “Rancang Bangun *Constant Current Charger* Dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) Dengan Kendali Logika *Fuzzy*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun serta bukan karya plagiasi. 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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 9 Juli 2020

Yang menyatakan,

AGAM PATRIA ALAM

NIM 161910201102

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN *CONSTANT CURRENT CHARGER* DARI
PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR (PMSG)
DENGAN KENDALI LOGIKA *FUZZY***

Oleh

Agam Patria Alam

NIM 161910101102

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Andi Setiawan S.T., M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Dr.Ir. Satriyo Budi Utomo, S.T., M.T

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi berjudul ” Rancang Bangun *Constant Current Charger* dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) Dengan Kendali Logika *Fuzzy*” Telah diuji dan disahkan pada :

Hari, Tanggal : Kamis, 9 Juli 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Ketua,

Andi Setiawan S.T., M.T
NIP. 19691010199702 1 001

Anggota II,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T
NIP 19710402200312 1 001

Anggota I,

Dr. Ir. Satriyo Budi Utomo, S.T., M.T.
NIP. 19850126200801 1 002

Anggota III,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto S.T., M.T.
NIP 19700826199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto S.T., M.T.
NIP 19700826199702 1 001

RINGKASAN

Rancang Bangun *Constant Current Charger* dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) dengan Kendali Logika Fuzzy; Agam Patria Alam, 161910201102; 2020; 90 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) merupakan salah satu jenis generator sinkron yang banyak diaplikasikan pada sistem turbin angin dikarenakan memiliki kelebihan antara lain ukuran yang kecil, keandalan yang tinggi, pemeliharaan yang tidak rumit dan memiliki kerapatan daya yang lebih tinggi karena tidak memiliki belitan rotor, namun masih memiliki beberapa permasalahan pada kualitas daya listrik seperti masalah penyimpangan arus, tegangan maupun frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan atau kesalahan operasi pada peralatan-peralatan konsumen energi listrik. Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan suatu inovasi yang dapat memaksimalkan arus keluarannya maka digunakan *converter* DC-DC untuk mengontrol arus keluaran yang diperuntukkan untuk pengisian maka diperoleh arus pengisian yang stabil.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara merancang serta mengimplementasikan *converter* DC-DC tipe *buck converter* yang sesuai dengan daya output dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* yang digunakan dan merancang sistem pengaturan pengisian baterai dengan *constant current* kendali logika *fuzzy*. Hal pertama yang dilakukan adalah mencari literatur yang berkaitan dengan penelitian, kedua merancang sistem kontrol seperti sensor arus, sensor tegangan, *buck converter* dan plan secara keseluruhan, ketiga merancang program untuk *constant current* kendali logika *fuzzy* dan keempat melakukan pengujian dan pengambilan data dari sistem kontrol yang telah dibuat.

Pengujian *buck converter* dilakukan dengan merubah nilai *duty cycle* dan diberi beban $100\ \Omega$, tegangan yang diberikan juga bervariasi mulai tegangan 33 V, 44 V, dan 55 V. Selanjutnya melakukan pengujian *buck converter* menggunakan kontrol, pengujian ini dilakukan dengan dua tahap yang pertama dengan percobaan

duty cycle 22% dan tahap kedua menggunakan kendali logika *fuzzy*, pengujian ini menggunakan tegangan masukan dari PMSG sebesar 27 V dan resistansi 5 Ω , 10 Ω , dan 15 Ω . Hasil pengujian ketika menggunakan *duty cycle* 22% tidak dapat menuju ke nilai arus dengan resistansi sebelumnya, berbeda ketika menggunakan kendali logika *fuzzy* nilai arus akan tetap berada pada nilai set poin meski resistansi diubah. Pengujian yang terakhir adalah melakukan pengecasan menggunakan kendali logika *fuzzy* pada baterai 12 V 7,2 Ah, fungsi metode ini ialah manajemen pengisian baterai secara *constant current* dimana arus dijaga konstan hingga baterai terisi maksimum atau sesuai dengan kapasitas pada baterai yang ingin dicapai, arus dijaga tetap stabil pada 0,72 A selama ± 2 Jam setelah itu arus secara alamiah akan turun hingga 0,1 A atau baterai sudah terisi 70% dari total kapasitas selama pengecasan total ± 10 Jam.

Kesimpulan dari hasil analisis dan pengujian “Rancang Bangun *Constant Current Charger* dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) dengan Kendali Logika *Fuzzy*” diperoleh efisiensi untuk pembuatan *buck converter* tertinggi ketika *duty cycle* 60% dan resistansi 100 Ω dihasilkan daya masuk sebesar 8,89 Watt dan daya keluar sebesar 7,71 Watt, untuk efisiensi terendah ketika *duty cycle* 20% dihasilkan daya masuk sebesar 1,10 Watt dan daya keluar sebesar 0,41 Watt dan Pengecasan baterai dengan *constant current* 0,72 lebih cepat dan tepat, bahwa hanya waktu 151 menit baterai sudah terisi lebih dari 70% dan kurang dari 90% kapasitas baterai, akan tetapi harus ditambahkan *constant voltage* pada pemrograman agar tidak terjadi *overvoltage* yang disebabkan penurunan arus secara alamiah dan mengharuskan kontroller menaikkan tegangan agar arus dapat menuju set poin.

SUMMARY

Design Build Constant Current Charger from Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) with full Fuzzy logic; Agam Patria Alam, 161910201102; 2020; 90 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering University of Jember.

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) is a type of synchronous generator that is widely applied to the wind turbine system because it has advantages such as small size, high reliability, uncomplicated maintenance and higher power density as it does not have rotor winding, but still has some problems on the quality of electrical power, such as the current problem of drift, voltage or frequency that can lead to failure or operation fault of electrical energy consumer equipment. Based on the problem is needed an innovation that can maximize the output flow then used DC-DC converter to control the output current destined for charging, then obtained stable charging current.

The study aims to find out how to design and implement the DC-DC converter buck-type converter that corresponds to the output power of the Synchronous magnetic Permanent Generator that is used and design a battery charging arrangement system with a constant current fuzzy logic control. The first thing to do is look for literature related to research, both designing control systems such as current sensors, voltage sensors, buck converters and overall plans, third designing programs for a constant current of fuzzy and fourth logic control conducting testing and retrieval of data from the control system that has been created.

The test of Buck converter is done by changing the duty cycle value and given $100\ \Omega$, the given voltage also varies from voltage 33 V, 44 V, and 55 V. Further testing the buck converter using the controls, the test was conducted with the first two stages with a 22% duty cycle trial and the second stage using Fuzzy logic control, this test uses the input voltage of the PMSG at 27 V and $5\ \Omega$ resistance, $10\ \omega$ and $15\ \omega$. Test results when using a duty cycle 22% cannot go to the current value with previous resistance, different when using the fuzzy logic control the

current value will remain at the value of set points even if resistance is changed. The final test is to do the charging using fuzzy logic controls on the 12 V 7.2 Ah Battery, function of this method is a constant current management of battery charging where the current is kept constant until the battery is charged maximum or according to the capacity on the battery you want to achieve, the current is kept steady at 0.72 A for ± 2 hours after which the current will naturally drop to 0.1 A or the battery already charged 70% of the total capacity during the total charging ± 10 hours.

Conclusion of the results of the analysis and testing "design build Constant Current Charger from Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) with full Fuzzy logic" obtained efficiency for the creation of the highest buck converter when the duty cycle of 60% and resistance 100 Ω generated the power of entry of 8.89 Watts and power out of 7.71 Watt, for the lowest efficiency when duty cycle 20% is generated in the power of 1.10 watts and power out of 0.41 Watt and battery charging with a Constant Current 0.72 faster and precise , that only 151 minutes of battery has been charged by more than 70% and less than 90% of the battery capacity, but should be added a constant voltage to the programming so as not to happen overvoltage caused by a natural decline and require the controller to increase voltage so that the current can go to set points.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “rancang bangun *constant current charger* dari *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) dengan kendali logika *fuzzy*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Allah SWT, karena berkat kuasa dan kehendak-Nya penulis diberi kekuatan jasmani dan rohani, kesabaran, ketabahan, kelancaran, dan kemudahan;
2. Orang tua tercinta, Bapak Wadina dan Ibu Fatimahanum, dan juga Adikku Uyun Nafa, yang tidak pernah berhenti memberikan segala macam dukungan, kasih sayang, do'a, dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
3. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Andi Setiawan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Satriyo Budi Utomo, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini terselesaikan, serta Dr. Ir. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T selaku Dosen Penguji Ketua dan Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T, selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan nasehat selama ini;
6. Teman se proyekan: Indra Riansyah yang telah membantu penelitian saya sehingga terselesaikannya skripsi ini;
7. Kawan-kawan KKN 141 Tepos: Diska, Febri, Lisa, Desya, Novel, Ayun,

Manda, Bachtiar, Khilfi yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada saya;

8. Dulur-dulur angkatan INDUKTRO 16 atas segala kebersamaan dan kerja samanya selama \pm 4th;
9. Semua pihak yang terlibat baik langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

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

Jember, 9 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBINGError! Bookmark not defined.	
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN/SUMMARY	viii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 .TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)	5
2.2 Arduino UNO	6
2.3 Sensor Tegangan.....	7
2.4 Sensor Arus INA219.....	8
2.5 Buck Converter	8
2.5.1 Kondisi Saklar Aktif (<i>Switch On</i>).....	9
2.5.2 Kondisi Saklar Tidak Aktif (<i>Switch Off</i>)	10

2.6 Pulse Width Modulation (PWM)	12
2.7 Kontrol Logika Fuzzy	13
2.7.1 Tahapan Pemodelan Dalam Logika Fuzzy	15
2.7.2 Struktur Dasar Kontrol Logika Fuzzy	16
2.7.3 Fuzzyfication	19
2.7.4 Rule Evaluation	19
2.7.5 Defuzzyfication	20
2.8 Metode Pengisian Baterai	20
2.8.1 Constant Current Charge	20
2.8.2 Constant Voltage Charge	21
2.8.3 Variabel Current Voltage	21
2.9 Baterai	21
2.10 Liquid Crystal Display	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Rancangan Penelitian	25
3.1.1 Jenis Penelitian	25
3.1.2 Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2 Kerangka Pemecahan Masalah	26
3.3 Alat dan Bahan	29
3.4 Rancangan Penelitian	29
3.4.1 Blok Diagram Sistem	29
3.4.2 Perancangan Sistem Kontroller Fuzzy	30
3.5 Perancangan Komponen Pengendali (Hardware)	33
3.5.1 Sensor Tegangan	33
3.5.2 Spesifikasi Permanent magnet synchronous generator (PMSG)	34
3.5.3 Arduino	35
3.5.4 Perancangan Buck Converter	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Analisis Pengujian Karakteristik PMSG	39
4.2 Analisis Pengujian Sensor Arus INA219	42
4.3 Analisis Pengujian Sensor Tegangan	44

4.4 Pengujian PWM (Pulse Width Modulation).....	46
4.5 Implementasi Rancang Bangun <i>Buck Converter</i>	49
4.5.1 Analisis Pengujian <i>Buck Converter</i>	51
4.6 Analisis Pengujian <i>Buck Converter</i> Menggunakan Kontrol.....	55
4.6.1 Analisis Pengujian <i>Buck Converter</i> Menggunakan <i>Duty Cycle</i> 22%	55
4.6.2 Analisis Pengujian <i>Buck Converter</i> Dengan Kendali Logika <i>Fuzzy</i>	56
4.7 Analisis Pengujian <i>Buck Converter</i> Dengan Kendali Logika <i>Fuzzy</i> Pada Charging Baterai.....	57
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	60
LAMPIRAN.....	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Datasheet Arduino Uno.....	7
Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Penelitian	26
Tabel 3.2 Rule Base	33
Tabel 3.3 Spesifikasi Permanent Magnet Synchronous Generator (Pmsg)	35
Tabel 3.4 Spesifikasi Dc/Dc Buck Converter	38
Tabel 4.1 Pengujian Beban Pmsg Pada Rpm 300	39
Tabel 4.2 Pengujian Beban Pmsg Pada Rpm 400	40
Tabel 4.3 Pengujian Beban Pmsg Pada Rpm 500	40
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Sensor Arus Ina219.....	43
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Sensor Tegangan	45
Tabel 4.6 Pengujian Gelombang Pulse Width Modulation.....	47
Tabel 4.7 Spesifikasi Komponen Perancangan Buck Converter	49
Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Buck Converter Pada Tegangan Masukan 33v ..	51
Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian Buck Converter Pada Tegangan Masukan 44v ..	52
Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Buck Converter Pada Tegangan Masukan 55v	52
Tabel 4.11 Pengujian Pemberian Beban Pada Buck Converter Menggunakan Duty Cycle 22%	55
Tabel 4.12 Pengujian Pada Buck Converter Dengan Kendali Logika Fuzzy	56
Tabel 4.13 Data Hasil Pengisian Baterai Dengan Constant Current.....	58

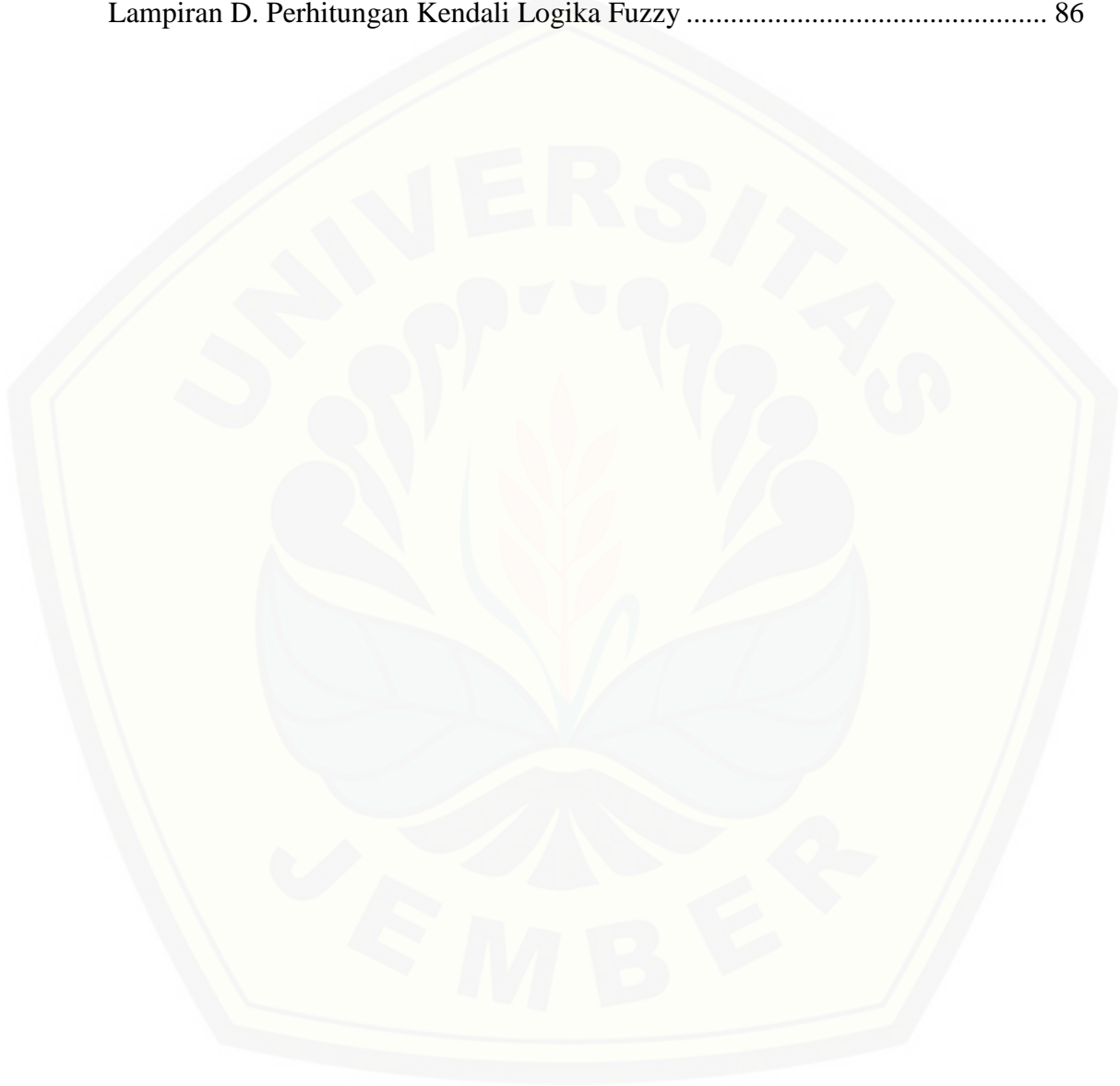
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Permanent Magnet Synchronous Generator (Pmsg)	5
Gambar 2.2 Modul Arduino Uno	6
Gambar 2.3 Rangkaian Pada Sensor Tegangan	8
Gambar 2.4 Schematic Sensor Arus Ina219	8
Gambar 2.5 Rangkaian Buck Converter	9
Gambar 2.6 Buck Converter Saat Switch On.....	10
Gambar 2.7 Buck Converter Saat Switch Off.....	11
Gambar 2.8 Bentuk Sinyal Duty Cycle.....	13
Gambar 2.9 Model Lingsuitik Fuzzy	14
Gambar 2.10 Blok Diagram Fuzzy Secara Keseluruhan	14
Gambar 2.11 Blok Diagram Sistem Fuzzy 1	15
Gambar 2.12 Blok Diagram Sistem Fuzzy 2	15
Gambar 2.13 Baterai Vrla 12v 7.2ah	22
Gambar 2.14 Liquid Crystal Display (Lcd) 16 X 2	24
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem	30
Gambar 3.3 Perancangan Sistem Kontroller Fuzzy	31
Gambar 3.4 Membership Function Error	32
Gambar 3.5 Membership Function Delta Error	32
Gambar 3.6 Skematik Sensor Tegangan	34
Gambar 3.7 Rangkain Pengujian Sensor Tegangan.....	34
Gambar 3.8 Rangkaian Buck Converter	36
Gambar 3.9 Rangkaian Driver Mosfet	38
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Beban Terhadap Daya Output Pada Variasi Kecepatan	41
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Beban Terhadap Tegangan Output Pada Variasi Kecepatan.....	41
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Beban Terhadap Arus Output Pada Variasi Kecepatan	42

Gambar 4.4 Grafik Pengujian Sensor Arus Ina219.....	44
Gambar 4.5 Sensor Arus Ina219 Pada Rangkaian Buck Converter.....	44
Gambar 4.6 Grafik Pengujian Sensor Tegangan.....	46
Gambar 4.7 Sensor Tegangan Pada Rangkaian Buck Converter.....	46
Gambar 4.8 Perancangan Buck Converter Di Software Eagle	50
Gambar 4.9 Hasil Rancangan Buck Converter	51
Gambar 4.10 Grafik Pengujian Duty Cycle Terhadap Efisiensi	53
Gambar 4.11 Grafik Pengujian Duty Cycle Terhadap Daya Masuk.....	54
Gambar 4.12 Grafik Pengujian Duty Cycle Terhadap Daya Keluar.....	54
Gambar 4.13 Pengujian Buck Converter Dengan Duty Cycle 22%	56
Gambar 4.14 Pengujian Buck Converter Dengan Kendali Logika Fuzzy	57
Gambar 4.24 Hasil Pengujian Sistem Charging Dengan Constant Current 0,72 A	58
Gambar 4.25 Hasil Pengisian Baterai Dengan Constant Current Selama 10 Jam	59

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Data Pengecasan Selama 10 Jam	64
Lampiran B. Listing Program	72
Lampiran C. Lampiran Gambar	85
Lampiran D. Perhitungan Kendali Logika Fuzzy	86



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi di Indonesia masih didominasi oleh energi tak terbarukan yang berasal dari fosil, seperti minyak dan batu bara, seiring berjalannya waktu dan bertambahnya pengguna energi tak terbarukan tersebut membuat ketersediaan energi fosil menipis dan mendorong untuk beralih ke energi baru terbarukan (EBT) sebagai energi alternatif salah satunya pembangkit listrik tenaga angin. Mengingat Indonesia merupakan negara yang sangat besar memiliki potensi tenaga angin menjadikan pembangkit listrik tenaga angin menjadi salah satu alternatif yang tepat dalam mengatasi masalah keterbatasan energi. Salah satu keuntungan menggunakan tenaga angin adalah sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan ketersediaannya melimpah. Pembangkit listrik tenaga angin sangat sesuai untuk negara kepulauan seperti di Indonesia. Pembangkit listrik tenaga angin mampu dibangun di daerah-daerah yang tidak terjangkau listrik karena jauh dari pusat pembangkit, sehingga rasio elektrifikasi mampu meningkat terkait keberadaan angin yang mudah ditemukan (Dzulfiqar Rais Mushthafa, 2011).

Pembangkit listrik tenaga angin mengkonversi energi angin menjadi energi listrik menggunakan turbin angin (Hilmansyah, 2017). Turbin angin digunakan untuk membangkitkan energi listrik dengan memanfaatkan tekanan dari energi angin kemudian memutar turbin yang telah terkopel oleh magnet permanen salah satu jenis yang paling tepat menggunakan *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) sebagai penghasil listrik. (Helmi Cahyo, 2018).

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) merupakan salah satu jenis generator sinkron yang banyak diaplikasikan pada sistem turbin angin dikarenakan memiliki beberapa kelebihan antara lain ukurannya yang kecil, memiliki kehandalan yang tinggi, tidak butuh pemeliharaan yang rumit, serta kerapatan daya yang lebih tinggi karena tidak memiliki belitan rotor. Jenis generator ini juga tidak memerlukan sistem eksitasi karena sumber eksitasi

disediakan oleh magnet permanen yang berada pada rotor. (Huynh Quang Minh, Nollet Frédéric, Essounbouli Najib, Hamzaoui Abdelaziz, 2011).

Hasil keluaran dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) berupa arus listrik 3 fasa (AC), masih memiliki beberapa permasalahan. Kualitas daya listrik merupakan masalah yang sering ditemui dalam sistem pembangkit listrik tenaga angin. Masalah tersebut dapat berupa penyimpangan tegangan, arus, maupun frekuensi yang dapat menyebabkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan konsumen energi listrik. Perlu diketahui bahwa efisiensi dari pembangkit listrik tenaga angin sesuai dengan *the Betz Law* tidak lebih dari 59 %, oleh karena itu perlu dilakukan optimasi sehingga efisiensi dari pembangkit listrik tenaga angin mampu mendekati 59 % (Dzulfiqar Rais Mushthafa, 2011).

Beberapa penelitian diuji coba untuk menemukan hasil yang terbaik dalam menyelesaikan permasalahan tersebut diantaranya tanpa MPPT, dengan MPPT, MPPT menggunakan *neural network*, MPPT menggunakan PI. Pada kajian metode MPPT pada *variable speed wind turbine* dengan PMSG bertujuan untuk memaksimalkan ekstraksi daya maksimal serta mampu mengatur tegangan *output* dalam berbagai kondisi angin dan perubahan beban yang bervariasi (Armaditya, Heri S, Teguh Y, 2012) yang membandingkan antara hasil ketika menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT pada kecepatan angin 7 m/s diperoleh daya sebesar 395 W tanpa MPPT dan 1258 W ketika dengan MPPT, dari hasil kajian tersebut (Novitasari, 2014) dengan judul penelitian yaitu optimalisasi daya *output* sistem pembangkit listrik tenaga angin menggunakan PMSG berbasis *neural network*, mengembangkan dengan membandingkan antara memberikan kontrol pada MPPT yaitu kontrol menggunakan *neural network* dan kontrol dengan PI diperoleh daya ketika musim kemarau sebesar 1919 W dan pada saat musim penghujan daya yang diperoleh 1859 W, dan pada saat MPPT menggunakan control PI daya pada musim kemarau 1919 W, ketika musim penghujan daya yang diperoleh 1850 W. Pada tahun 2018 dilakukan penelitian kembali mengenai *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG), dengan memberikan *buck converter* tanpa kontrol untuk pengisian baterai, hingga diperoleh tegangan yang

stabil yaitu 14 V meskipun kecepatan generator yang bervariasi. (Ratna I, Supriatna A, M Rifa'i, 2018)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dalam memaksimalkan keluaran serta daya pada *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) maka diperlukan suatu inovasi yang dapat memaksimalkan arus keluarannya. Penelitian ini menggunakan *buck converter* dengan kendali logika *fuzzy* yang mana metode ini memiliki kelebihan diantaranya *noise* yang kecil serta dapat mendekati arus yang diinginkan dari arus keluaran *buck converter* sehingga penulis akan melakukan penelitian dengan judul “Rancang Bangun *Constant Current Charger* dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) dengan Kendali Logika *Fuzzy*”.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan diatas, dapat diambil beberapa permasalahan yaitu:

1. Bagaimana merancang *buck converter* yang sesuai dengan daya *output* dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) yang digunakan?
2. Bagaimana merancang sistem *constant current charger* dengan kendali logika *fuzzy* untuk pengisian baterai dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) dan *buck converter* hasil perancangan?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan meninjau latar belakang pada permasalahan yang telah diuraikan, dapat dirumuskan tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui cara merancang dan mengimplementasikan *buck converter* yang sesuai dengan daya output dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) yang digunakan.
2. Mengetahui cara merancang sistem pengaturan pengisian baterai dengan *constant current* kendali logika *fuzzy*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberi batasan masalah agar memfokuskan pada tujuan penelitian ini. Adapun yang menjadi batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis difokuskan pada arus keluaran pada *buck converter*.
2. Pengujian *buck converter* diperuntukkan *charger battery*.
3. Menggunakan mikrokontroler berupa Arduino Uno.
4. Baterai yang digunakan 12 Volt 7,2 Ah.
5. Tidak membahas secara rinci mengenai konstruksi dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG).
6. Menggunakan metode mamdani pada kontrol logika *fuzzy* nya.
7. Pengisian baterai selama 10 jam dengan *buck converter* kendali logika *fuzzy* dilakukan menggunakan *power supply*.

1.5 Manfaat Penelitian

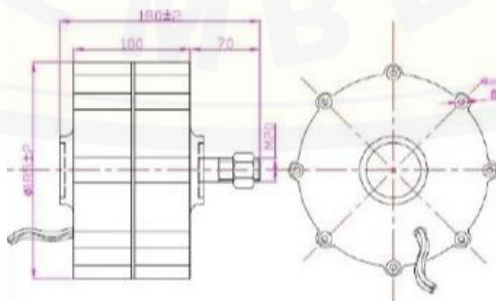
Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu memperbaiki arus dengan cara menstabilkan arus keluaran *buck converter* menggunakan sistem kontrol metode logika *fuzzy* sehingga didapatkan keandalan serta *efisiensi* yang tinggi pada *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG).

BAB 2 .TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 akan diuraikan tentang beberapa dasar teori untuk memecahkan masalah pada penelitian ini yang digunakan sebagai referensi 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 ulasan dibawah ini yang antara lain:

2.1 *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)*

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) merupakan salah satu jenis generator sinkron yang banyak diaplikasikan pada sistem turbin angin dikarenakan memiliki beberapa kelebihan antara lain ukurannya yang kecil, memiliki kehandalan yang tinggi, tidak butuh pemeliharaan yang rumit, serta kerapatan daya yang lebih tinggi karena tidak memiliki belitan rotor. Jenis generator ini juga tidak memerlukan sistem eksitasi karena sumber eksitasi disediakan oleh magnet permanen yang berada pada rotor. Selain itu, desain yang sederhana dengan rotor tanpa kumparan medan, *slip ring*, dan tanpa sistem eksitasi juga membuat PMSG dapat meningkatkan efisiensi pada mesin. PMSG digunakan untuk aplikasi pada turbin tenaga angin yang rendah. (Huynh Quang Minh, Nollet Frédéric, Essounbouli Najib, Hamzaoui Abdelaziz, 2011).



Gambar 2.1 *Permanent magnet synchronous generator (PMSG)*

2.2 Arduino UNO

Arduino Uno adalah modul mikrokontroler berbasis ATmega 328. Modul ini memiliki empat belas pin *input-output* (14 I/O) di mana enam diantaranya dapat digunakan sebagai *output pulse width modulation* (PWM), enam *input* analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, tombol *reset* dan koneksi ke catu daya. Kontroler ini semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler. “Uno” berarti satu dalam bahasa Itali dan hal ini untuk menandai versi pertama (Arduino 1.0) yang akan menjadi versi acuan bagi Arduino berikutnya. Uno adalah seri terakhir dari seri papan atau modul USB Arduino. Uno tidak lagi menggunakan *chip* FTDI USB-to-serial tetapi menggunakan Atmega 8U2 sebagai konverter USB ke serial. Gambar 2.2 menunjukkan skema dari modul Arduino UNO yang merupakan penyederhanaan dari gambar modul aslinya. (Hidayat, 2015)



Gambar 2.2 Modul arduino UNO

Sumber: (store arduino, n.d.)

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

Pada Arduino UNO-R3 menggunakan ATmega328, yang termasuk dalam kategori mikrokontroler pada keluarga AVR 8 bit. Pada Arduino UNO-R3 menggunakan ATmega328 dengan ukuran fisik yang lebih kecil dibandingkan

dengan beberapa mikrokontroler ATmega jenis yang lain, tetapi dengan ukuran memori dan periperialnya yang relative sama dengan ATmega8535, hanya saja dengan jumlah GPIO yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan jenis yang lain. Berikut ini adalah tabel spesifikasi dari Arduino Uno R3 dapat kita lihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

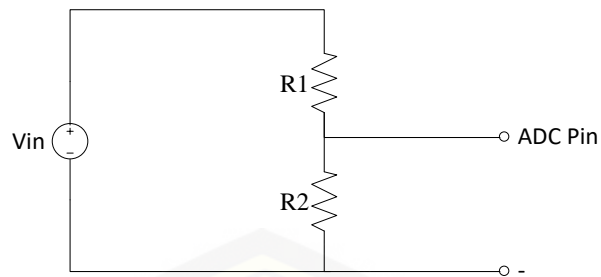
Tabel 2.1 *Datasheet* arduino UNO

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

2.3 Sensor Tegangan

Sensor tegangan memiliki fungsi sebagai pembagi tegangan yang digunakan untuk mengubah tegangan yang akan diukur untuk dapat diumpkan ke pin kontroler yang sudah memiliki *converter* analog ke digital (ADC). Nilai resistor yang digunakan dapat diketahui berdasarkan perhitungan agar keluaran V_o mengeluarkan tegangan maksimal 5 Volt sebagai inputan mikrokontroler. Perhitungan dapat diketahui dengan persamaan untuk mencari nilai – nilai resistor R_1 dan R_2 ditunjukkan pada persamaan 2.1

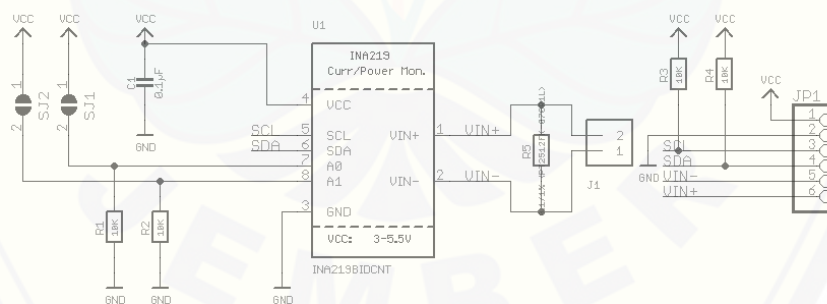
$$V_o = V_{in} \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \dots\dots\dots (2.1)$$



Gambar 2.3 Rangkaian pada sensor tegangan

2.4 Sensor Arus INA219

Sensor INA219 adalah alternatif sensor untuk modul sensor ACS712 yang berguna mengukur arus DC. Modul sensor ini merupakan modul yang didukung dengan kemampuan ukur yang mampu mengukur sumber beban yang sampai 26 Vdc dan arus 3,2 Ampere. Modul sensor yang berukuran kecil dan tidak hanya mengukur arus, tapi juga tegangan lewat komunikasi I2C dengan tingkat akurasi tinggi. Dengan memanfaatkan perkalian hukum ohm, dapat juga menghitung daya watt-nya juga. Besaran daya yang mampu diukur menggunakan modul ini yaitu dapat mencapai lebih dari 75 watt daya.

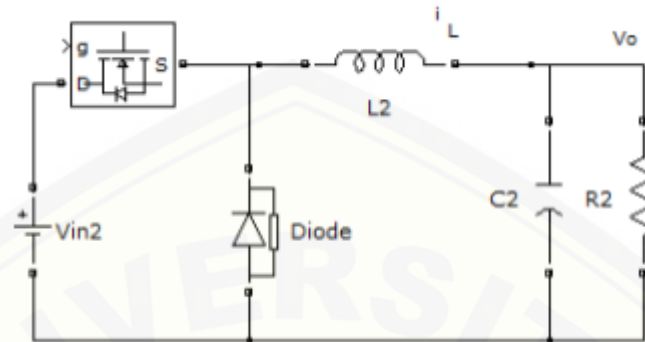


Gambar 2.4 Schematic sensor arus INA219
Sumber: (Lady, Dean, Tony, & Kattni, 2014)

2.5 Buck Converter

Buck converter merupakan *converter* yang menghasilkan tegangan *output* yang lebih kecil dari tegangan *input*. Tegangan *output* yang dihasilkan mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan masukannya. *Buck converter* biasa disebut

juga sebagai *step-down converter*. Pada gambar 2.5 merupakan rangkaian dasar *buck converter* yang terdiri dari induktor, kapasitor, mosfet sebagai *switching* komponen dan resistor sebagai beban (*dummy load*).



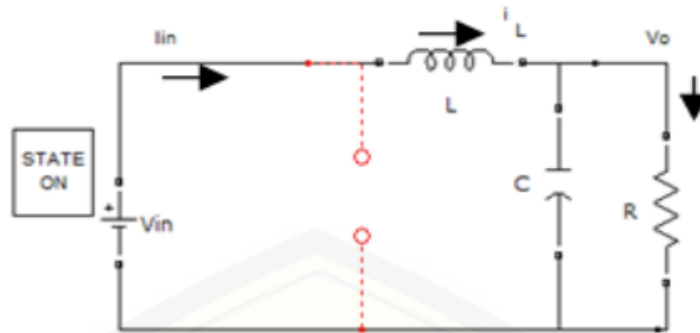
Gambar 2.5 Rangkaian *buck converter*

Prinsip kerja *buck converter* memiliki 2 *state* yaitu *state on* dan *state off*.

Ketika *state on* atau saklar pada kondisi aktif, arus sumber mengalir melalui induktor (L) menuju *output* beban kapasitor dan resistor hingga tegangan keluaran mendekati tegangan masukan. Ketika pada *state off* atau saklar kondisi tidak aktif, terjadi pembalikan polaritas sehingga energi yang tersimpan pada induktor akan mengalir terbalik berdasarkan 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.

2.5.1 Kondisi Saklar Aktif (*Switch On*)

Ketika berada pada kondisi saklar aktif, Q1 akan berfungsi saklar 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 2.6 menunjukkan *buck converter* saat kondisi *switch on*.



Gambar 2.6 *Buck converter* saat *switch on* (Tohir, 2016).

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

$$T_{ON} = D \times T_S \dots\dots\dots (2.2)$$

Secara umum didapat persamaan sebagai berikut:

$$V_{in} = V_L + V_O \text{ dan } V_L = V_{in} - V_C \dots\dots\dots (2.3)$$

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

$$L di = (V_{in} - V_O)dt \dots\dots\dots (2.5)$$

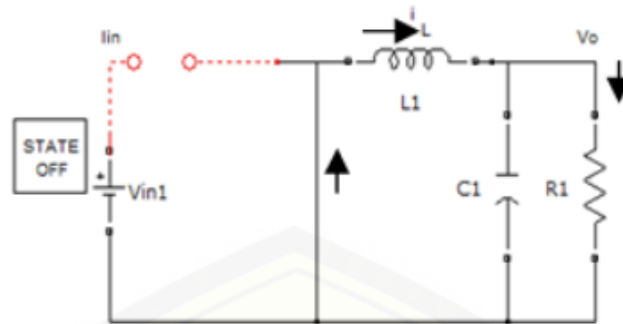
Karena lama waktu dt adalah selama saklar pada kondisi menutup atau *on*, maka:

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

$$di = \left(\frac{V_{in} - V_O}{L}\right)t_{on} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.5.2 Kondisi Saklar Tidak Aktif (*Switch Off*)

Ketika berada pada *state off*, Q1 menjadi terbuka mengakibatkan arus dari sumber input tidak dapat mengalir melalui mosfet, menjadi sumber tegangan output sekarang berasal dari induktor dan kapasitor dimana diode (D) menjadi aktif. Arus mengalir dari induktor (L) ke beban melalui dioda (D) dan kembali menuju induktor (L). Karena tegangan induktor (L) menjadi lebih kecil dibandingkan saat kondisi saklar aktif dan konstan, maka arus yang melewati induktor menjadi turu secara *linier* (Tohir, 2016). Gambar 2.7 menunjukkan *buck converter* saat kondisi *switch off*.



Gambar 2.7 Buck converter saat switch off
(Tohir, 2016)

Secara matematika waktu dari *state off* dapat ditulis seperti berikut:

$$T_{ON}=(1-D) \times TS \dots\dots\dots (2.8)$$

Pada kondisi saklar membuka, dapat diturunkan persamaan sebagai berikut:

$$V_L = V_L \dots\dots\dots (2.9)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_O \dots\dots\dots (2.10)$$

$$L di = V_O dt \dots\dots\dots (2.11)$$

Karena lama waktu dt adalah selama saklar pada kondisi membuka atau *off*, maka:

$$L di = V_o t_{off} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$di = \left(\frac{V_o}{L}\right)t_{off} \dots\dots\dots (2.13)$$

Diperoleh hubungan antara tegangan masukan dan keluaran, sebagai berikut:

$$V_o=V_{in} \times D \dots\dots\dots (2.14)$$

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:

$$V_{in}. I_{in} = V_o. I_o = D V_{in}. I_o \dots\dots\dots (2.15)$$

Sehingga arus masukan rata-rata adalah:

$$I_{in} = D. I_o \dots\dots\dots (2.16)$$

Menentukan nilai kapasitor dan induktor maka dapat diperoleh dengan rumus berikut:

Menentukan *duty cycle*:

$$D = \frac{V_o}{V_i} \dots\dots\dots (2.17)$$

Menentukan nilai induktor:

$$\Delta I_L = \left(\frac{1}{L}\right) (V_{in} - V_{out})t_1 \dots\dots\dots (2.18)$$

Menentukan nilai t_1 :

$$t_1 = \frac{1}{f} \frac{(V_o + V_f)}{(V_i + V_f)} \dots\dots\dots (2.19)$$

Menentukan jumlah lilitan:

$$\eta = \frac{L \times I_{max}}{B_{max} \times AC} \times 10^4 \dots\dots\dots (2.20)$$

Menentukan nilai pada kapasitor:

$$C = \frac{\Delta I_L}{8f\Delta V_o} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

D : *Duty cycle*

ΔI_L : *Ripple* arus pada induktor

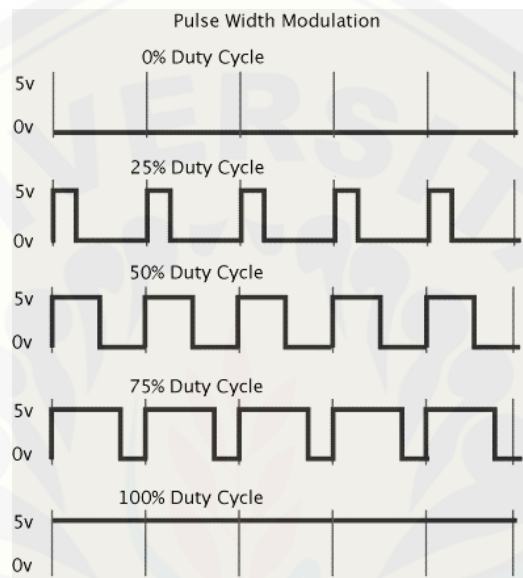
ΔV_o : *Ripple* tegangan

f : Frekuensi pensaklaran

2.6 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation merupakan sinyal yang dapat dibangun dengan banyak cara, bisa menggunakan metode analog dan juga bisa menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan *pulse width modulation*-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan *pulse width modulation* dipengaruhi oleh resolusi dari *pulse width modulation* itu sendiri. Teknik *pulse width modulation* memberikan keuntungan dimana komponen harmonisa urutan komponen rendah berkurang sehingga akan mengurangi jumlah harmonisa dan menyaring harmonisa. Semakin tinggi rasio frekuensi *switching* terhadap frekuensi fundamental maka semakin berkurang komponen harmonisa yang muncul.

Misalkan *pulse width modulation* digital 8 bit berarti *pulse width modulation* tersebut memiliki resolusi $2^8 = 256$, dengan maksud nilai keluaran *pulse width modulation* ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 256 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran *pulse width modulation* tersebut, pada perancangan *driver* ini, sinyal *pulse width modulation* akan diatur secara digital yang dibangkitkan oleh mikrokontroler (Feri Y, Suryo M H, 2010).



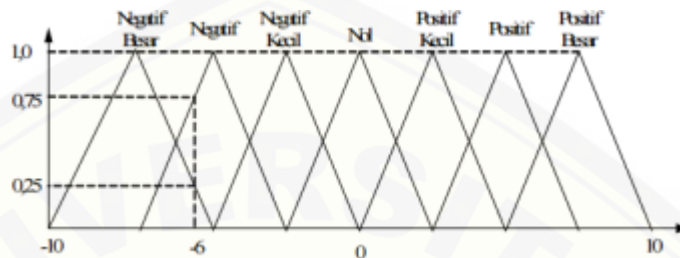
Gambar 2.8 Bentuk sinyal *duty cycle*.

2.7 Kontrol Logika 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* (ketidak pastian) atau abu – abu serta *imprecise* (ketidak tepatan), *noisy*.

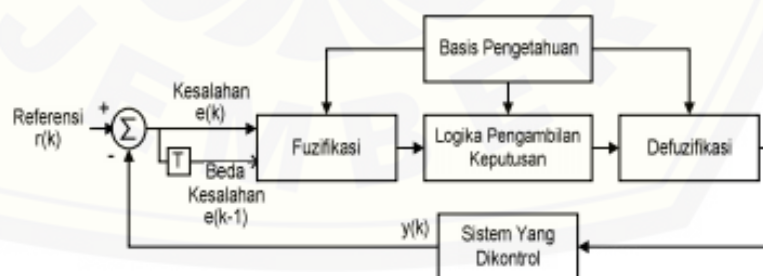
Logika *fuzzy* memiliki cara kerja yang didasarkan pada aturan linguistik yang biasa digunakan oleh manusia atau lebih spesifiknya mirip dengan instruksi yang berasal dari seorang operator dalam melakukan kendali. Dalam kinerja dari pengendalian tersebut, perintah atau instruksi didefinisikan dengan 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 bekerja dengan hasil yang memuaskan.



Gambar 2.9 Model linguistik *fuzzy*
(Pandhu Wicaksono, Iwan S, 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*).



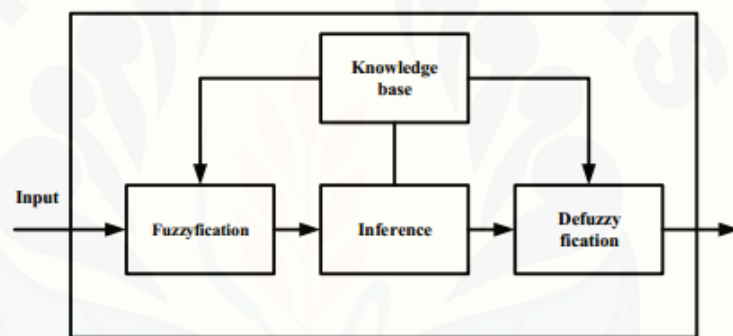
Gambar 2.10 Blok diagram *fuzzy* secara keseluruhan
(Pandhu Wicaksono, Iwan S, Darjat, 2008).

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 defuzzifikasi tersebut sebagai nilai sebenarnya yang nantinya nilai tersebut akan digunakan untuk proses regulasi.

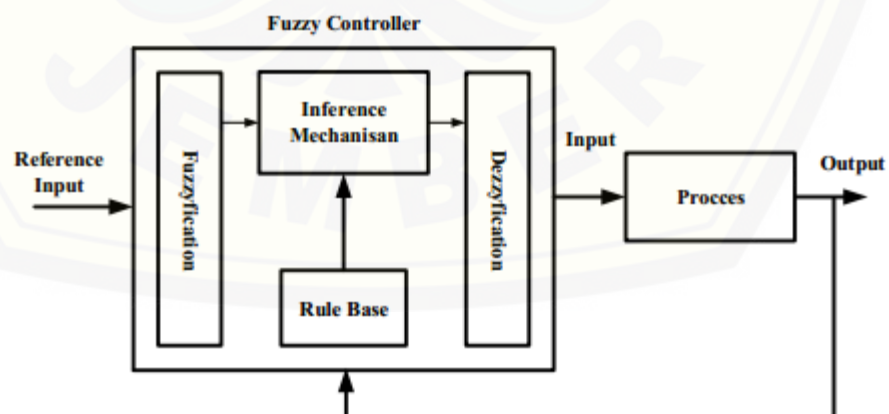
2.7.1 Tahapan Pemodelan Dalam Logika *Fuzzy*

Berikut adalah tahapan pemodelan dalam logika *fuzzy* yang disajikan dalam blok diagram:



Gambar 2.11 Blok diagram sistem *fuzzy* 1

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



Gambar 2.12 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 negative. Ada saatnya nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya.

Contoh:

1. Semesta pembicaraan untuk variabel umur: $[0+8]$
2. Semesta pembicaraan untuk variable temperature: $[0 40]$

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.

2.7.2 Struktur Dasar Kontrol Logika *Fuzzy*

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:

1. Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau
2. 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 juga 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*

1) Operator AND

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

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

2) Operator OR

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

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

3) Operator NOT

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

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

D. Fungsi Implikasi

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 :

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B$$

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) (Xx is Ax) THEN y is B

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

Fungsi ini akan memotong *output* himpunan *fuzzy*.

2.7.3 Fuzzyfication

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*).

2.7.4 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 “*IF antecedent THEN consequent*” yang merupakan inti dari relasi *fuzzy*. Terdapat dua model aturaan *fuzzy* yang digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, yaitu :

1. Model Mamdani

2. Model Sugeno

2.7.5 Defuzzyfication

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan besaran *fuzzy* yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Hal ini diperlukan sebab dalam aplikasi nyata yang dibutuhkan adalah nilai tegas (*crisp*). Prosesnya adalah ketika suatu nilai *fuzzy* output yang berasal dari *rule evaluation* diambil kemudian dimasukkan ke dalam suatu *membership function output*. Bentuk bangun yang digunakan dalam *membership function output* adalah bentuk *singleton* yaitu garis lurus vertikal ke atas. Besar nilai *fuzzy* output dinyatakan sebagai *degree of membership function output*. Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam suatu rumus yang dinamakan COA (*Center Of Area*) 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.

2.8 Metode Pengisian Baterai

Pada penelitian atau percobaan tentang *discharge* dan *charge* telah menghasilkan banyak sekali metode, antara lain:

2.8.1 Constant Current Charge

Metode pengisian ini adalah mengisi setrum dengan arus tetap mulai dari permulaan sampai akhir proses pengisian. Secara garis besar arusnya :

- a. Pengisian arus standar : 10% dari kapasitas baterai
- b. Pengisian arus minimal : 5% dari kapasitas baterai
- c. Pengisian arus maksimal : 20% dari kapasitas baterai

Karakteristik pengisian arus tetap adalah sebagai berikut :

- a. Tegangan terminal pada awal proses pengisian naik secara drastis dan setelah itu melambat turun. Selanjutnya, pada saat mendekati 2.4V, tegangan naik kembali dan ketika tegangannya dipertahankan.
- b. Jika tegangan pada cell mencapai 2.3~2.4V setelah proses pengisian dimulai, maka akan banyak gas yang dihasilkan. Alasannya karena arus yang disuplai setelah diisi penuh digunakan oleh elektrolit air sulingan. Pada plat anoda (+)

oxygen dihasilkan dan *hydrogen* dihasilkan pada plat katoda (-). Status penghasilan gas selama proses pengisian juga digunakan sebagai alat untuk menentukan selesainya proses pengisian.

2.8.2 *Constant Voltage Charge*

Metode ini adalah proses pengisian yang dilakukan dengan tegangan konstan dari awal sampai akhir. Pada awal proses pengisian arus yang diberikan besar setelah beberapa lama, arusnya akan dikurangi hingga pada akhirnya arus tidak dapat mengalir diakhir proses pengisian. Oleh karena itu tidak ada gas yang timbul dan performa pengisian lebih baik, namun arus yang besar juga dapat mempengaruhi usia pemakaian baterai.

2.8.3 Variabel *Current Voltage*

Proses pengisian dengan arus variabel, dalam metode ini efisiensi pengisian baik dan temperatur elektrolit secara perlahan akan naik. Diakhir proses pengisian arusnya akan berkurang, sehingga bisa mengurangi hilangnya arus dan bisa melindungi kerusakan akibat dari timbulnya gas.

2.9 Baterai

Aki atau baterai adalah sebuah sel listrik yang didalam baterai tersebut terjadi proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berbalikan) dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Pengertian lain dari baterai adalah alat yang digunakan untuk menyimpan tenaga listrik melalui proses elektrokimia sehingga sumber tenaga listrik dapat diubah menjadi tenaga kimia dan sebaliknya. Proses elektrokimia *reversible* merupakan proses yang terjadi di dalam baterai akibat dari perubahan kimia menjadi tenaga listrik (*discharge*), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*charge*).



Gambar 2.13 Baterai VRLA 12V 7.2Ah

Sumber: (product panasonic vrla 12V 7.2Ah, n.d.)

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

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 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 12 *Ampere hour*, artinya arus baterai akan habis dalam satu jam, bila beban menggunakan 12 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 atau aki dihitung dalam jumlah *cycle*. *Cycle* adalah satu kali penggunaan dan pengisian. *Depth of discharge* (jumlah pemakaian amper baterai), mempengaruhi baterai atau aki. Pada suhu 25 derajat celsius:

150 - 200 *cycle* dengan 100 persen *depth of discharge* (*full discharge*).

400 - 500 *cycle* dengan 50 persen *depth of discharge* (*partial discharge*).

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

2.10 *Liquid Crystal Display*

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronik yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf maupun grafik. LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit. Dalam pengaplikasian LCD memiliki beberapa pin dengan masing-masing kegunaan sebagai berikut:

a. Pin Data

Berfungsi untuk menyalurkan data yang ingin ditampilkan pada LCD.

b. Pin Rs

Berfungsi menentukan jenis data yang ingin ditampilkan apakah termasuk data atau suatu perintah.

c. Pin R/W (Read Write)

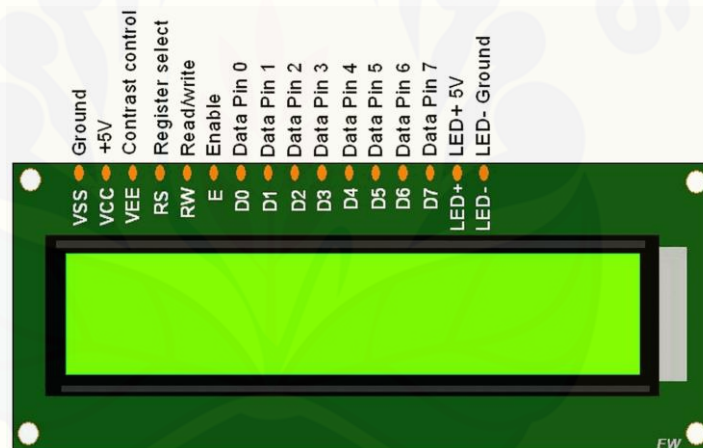
Berfungsi sebagai pengatur instruksi data pada modul.

d. Pin E (*Enable*)

Berfungsi untuk mengontrol data keluar dan data masuk.

e. Pin VLCD

Berfungsi mengukur kontras tampilan pada LCD



Gambar 2.14 *Liquid crystal display* (LCD) 16 x 2

Sumber: (Agus, 2017)

BAB 3 METODOLOGI 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 membuat rancang bangun. Rancang bangun ini bertujuan megambil data yang dibutuhkan secara langsung yaitu data arus yang dihasilkan oleh *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) serta data arus yang telah melalui *buck converter* dengan kontrol logika *fuzzy* yang akan digunakan untuk pengisian baterai. Pada penelitian ini di fokuskan pada pengaturan PWM agar mendapatkan arus yang sesuai dengan *setpoint* saat diberi beban.

3.1.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No.62 Patrang, Jember 68111. Penelitian ini akan dilakukann pada bulan Februari 2020 sampai dengan selesai.

Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian

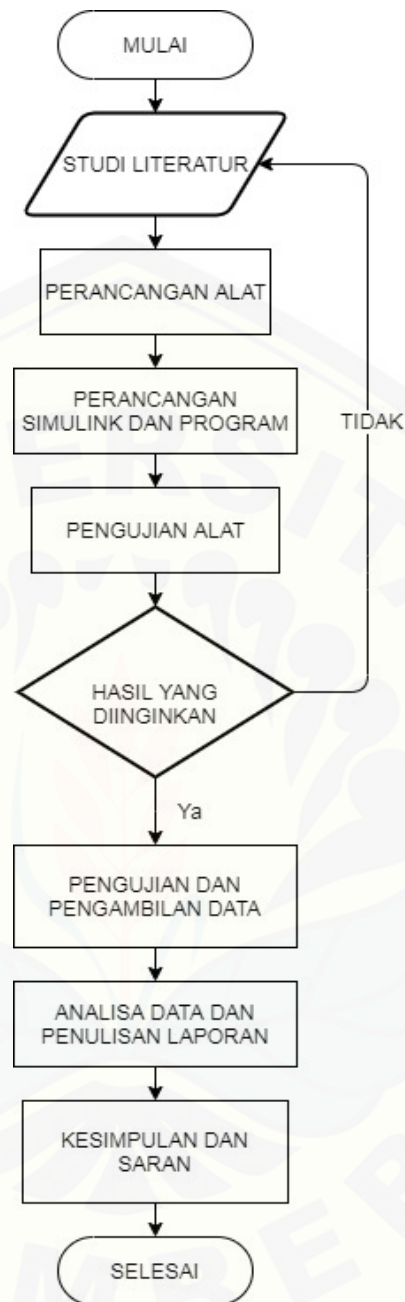
No	Kegiatan	Bulan Ke-/Minggu															
		Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi Literatur	■	■	■	■												
2.	Penelitian					■	■	■	■	■	■	■	■				
3.	Analisis Data									■	■	■	■				
4.	Pembahasan													■	■	■	■
5.	Pembuatan Laporan								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

Keterangan:

■ : Kegiatan dilaksanakan

3.2 Kerangka Pemecahan Masalah

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



Gambar 3.1 *Flowchart* penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian “RANCANG BANGUN *CONSTANT CURRENT CHARGER* DARI *PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR* (PMSG) DENGAN KENDALI LOGIKA *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, sensor arus untuk mendapat pembacaan sensor yang baik. Kemudian pengujian *buck converter* serta pengujian pada *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) yang digunakan.

4. Pembuatan simulink matlab untuk kontrol

Pada tahap keempat kali ini yaitu dengan melakukan pemrograman pada simulink matlab untuk mendapatkan *set point* yang ditentukan agar arus yang akan masuk pada baterai menjadi sesuai dengan arus yang dibutuhkan baterai sesuai dengan toleransi yang diberikan pada saat pengisian baterai meskipun dengan masukan arus 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 arus dan tegangan dari kapasitas baterai.

6. Analisis data dan pembuatan laporan

Tahap keenam adalah melakukan Analisis 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 Analisis data yang telah diperoleh, serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

3.3 Alat dan Bahan

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

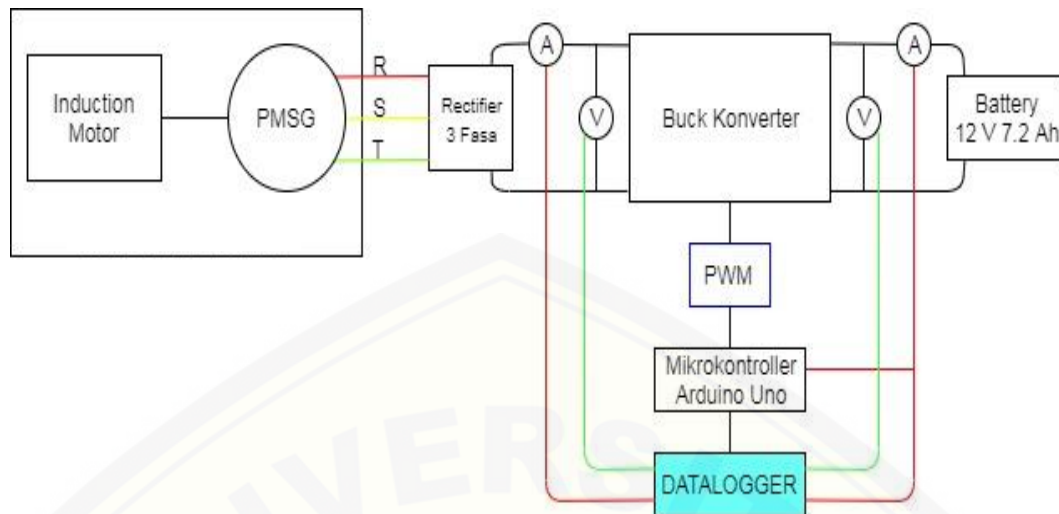
1. *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG)
2. *Rectifier*
3. Arduino UNO
4. Sensor arus INA219
5. Sensor arus ACS712
6. I2C
7. Laptop/PC
8. LCD
9. Resistor
10. Induktor
11. Kapasitor
12. MOSFET
13. Driver MOSFET

3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan *buck converter* untuk kontrol pada keluaran PMSG sehingga menghasilkan keluaran arus yang diharapkan. Penelitian ini fokus pada pengaturan PWM agar menghasilkan arus stabil yang sesuai *setpoint* ketika hubungkan dengan beban.

3.4.1 Blok Diagram Sistem

Berikut ini adalah blok diagram sistem:

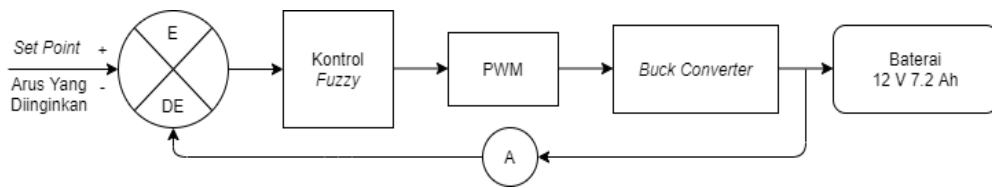


Gambar 3.2 Blok diagram sistem

Pada dasarnya prinsip kerja dari sistem pengisian baterai yaitu keluaran PMSG yang merupakan 3 fase akan di searahkan menjadi DC kemudian menjadi masukan pada *buck converter* yang akan di salurkan ke beban, dapat dilihat dari gambar 3.2 yang merupakan gambaran dari blok diagram sistem secara keseluruhan. Keluaran dari PMSG akan disearahkan dengan *Rectifier* 3 fase tidak terkontrol, pada luaran *rectifier* diberikan sensor arus INA219 dan sensor tegangan. Sensor arus dirangkai secara seri dan sensor tegangan dirangkai secara paralel dan masuk ke datalogger sebagai tegangan dan arus sebelum masuk ke *buck converter*. Pada blok sistem *buck converter* memiliki *input* PWM yang bertujuan untuk mengatur *duty cycle* sehingga dapat menaikkan dan menurunkan arus sesuai dengan *set point* yang ditentukan setelah melakukan pengujian pada *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG).

3.4.2 Perancangan Sistem Kontroller *Fuzzy*

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



Gambar 3.3 Perancangan sistem controller *fuzzy*

1. Tahap Fuzzifikasi

Tahap awal dalam pembuatan kontrol *fuzzy* ialah fuzzifikasi, pada tahap ini akan dilakukan pembuatan himpunan keanggotaan untuk arus dan tegangan, yaitu membuat himpunan keanggotaan untuk arus kemudian melakukan perhitungan untuk menentukan derajat keanggotaan masing-masing nilai arus.

Tahap selanjutnya terlebih dahulu ditentukan besarnya *setpoint* yang digunakan untuk membuat *membership function* dan juga proses perhitungan *error* dan *delta error*. Besar nilai *setpoint* yang digunakan yaitu 0.72 A, yang mana nilai tersebut menjadi acuan dalam kontrol agar tetap stabil pada nilai tersebut.

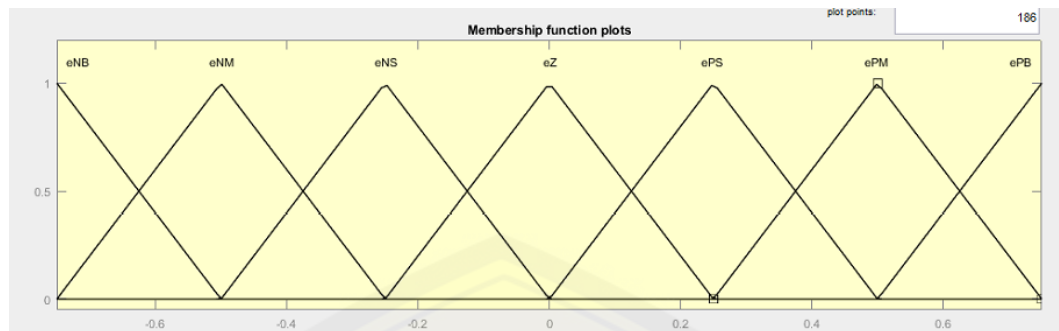
Sistem pengendalian ini bertujuan untuk mengendalikan arus agar tetap stabil sesuai *set point*, maka kendali tersebut dilakukan berdasarkan *error* (e) arus dan *delta error* (de) arus. Kontroller memproses selisi *error* ini dengan nilai *error* arus sebelumnya, $e(t-1)$ dan menjadikan perubahan error arus $de(t)$. Hasil perhitungan *error* dan *delta error* kemudian diproses sesuai dengan tahapan pada blok sistem kendali *fuzzy*.

Pada sistem kendali logika *fuzzy* yang didesain memiliki dua *input* yaitu nilai *error* dan *delta error* didefinisikan dengan rumus :

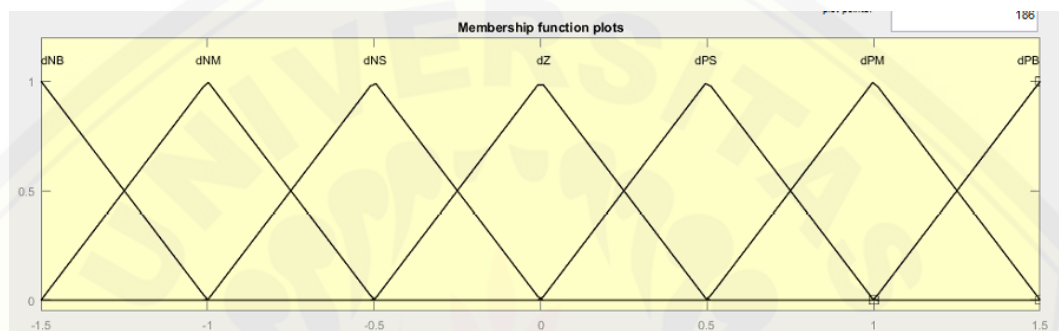
$$Error = Setpoint - Present Value$$

$$Delta\ error = Error(t) - Error(t-1)$$

Keanggotaan pada *membership function error* dan *delta error* dibagi menjadi 7, yakni NB (*Negative Big*), NM (*Negative Medium*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PB (*Positive Big*), PM (*Positif Medium*), PS (*Positive Small*). Pada kendali logika *fuzzy* ini mempunyai *input* yang berbentuk kurva segitiga dan *output* berbentuk *singleton*. Pada gambar 3.4 merupakan batasan-batasan *membership function error* dan gambar 3.5 merupakan batasan-batasan untuk *membership function delta error*.



Gambar 3.4 *Membership function error*



Gambar 3.5 *Membership function delta error*

Jumlah *membership function* sebanyak tujuh seperti pada gambar 3.4 dan gambar 3.5 diharapkan mampu memberikan kendali logika *fuzzy* yang lebih baik dan dapat menghasilkan osilasi yang rendah di sekitar *set point*.

2. Inferensi

Inferensi dilakukan memetakan nilai derajat keanggotaan dari masing-masing *error* dan *delta error* ketabel yang berisi basis aturan yang dipilih (*rule base*) dan menggunakan sebuah metode untuk pemilihan nilai dari derajat keanggotaan. Dengan demikian terlebih dahulu harus dibuat matrik atau tabel *rule base*.

Tabel 3.2 *Rule base*

ΔE \ E	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
NM	NB	NB	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NB	NM	NS	NS	Z	PS	PM
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PB
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PB	PB
PB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

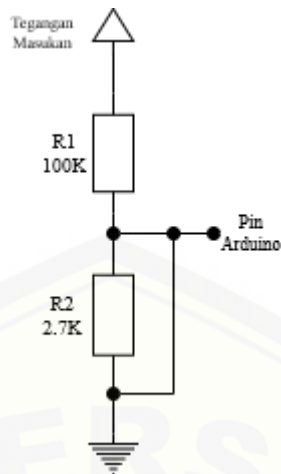
3. Defuzzifikasi

Tahap defuzzifikasi merupakan tahap penegasan atau tahap terakhir dari kontrol *fuzzy*. *Input* dari proses defuzzifikasi adalah himpunan dari komposisi aturan OR yang mengambil nilai keanggotaan terbesar (MAX) antar elemen pada himpunan yang dihasilkan. Sedangkan *output* yang dihasilkan adalah bilangan pada *domain* himpunan *fuzzy*. Metode yang digunakan dalam defuzzifikasi adalah *weight average method*.

3.5 Perancangan Komponen Pengendali (*Hardware*)

3.5.1 Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan mengadopsi konsep dari rangkaian pembagi tegangan. Pada perancangan dilakukan dengan menyusun resistor secara seri. Dikarenakan pada pin arduino hanya mampu membaca tegangan maksimal 5 V sedangkan tegangan yang diukur adalah 200 V.

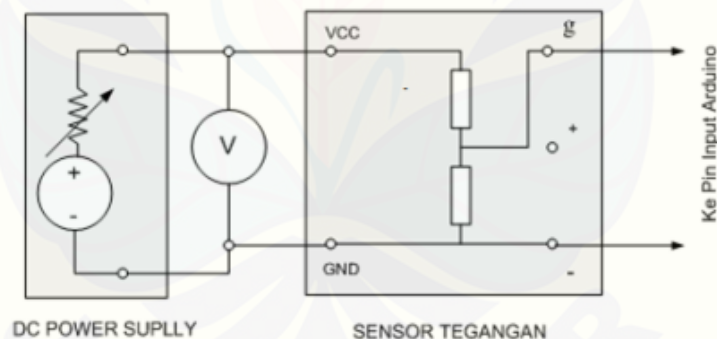


Gambar 3.6 Skematik sensor tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini dapat dilihat pada persamaan 3.1

$$V_{out} = \frac{R2}{R1+R2} \times V_i \dots\dots\dots (3.1)$$

Pengujian sensor tegangan ini dilakukan dengan cara seperti terlihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Rangkain pengujian sensor tegangan

Pada pengujian ini menggunakan 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*.

3.5.2 Spesifikasi *Permanent magnet synchronous generator* (PMSG)

Permanent magnet synchronous generator (PMSG) yang digunakan yaitu dengan daya 600 Watt. Berikut ini merupakan spesifikasi dari PMSG:

Tabel 3.3 Spesifikasi *permanent magnet synchronous generator* (PMSG)

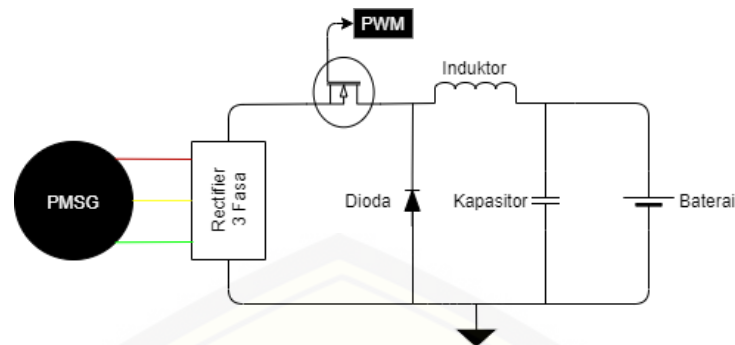
Rated power	600 Watt
Rated Voltage	12/24/48 Volt AC
Weight	6,5 Kg
Generator type	3 phase
Working temperature	-40°C~80°C
Braking method	Electromagnetic

3.5.3 Arduino

Arduino sebagai kontroller yang digunakan dalam *plant*. Pada tahaan 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 3. 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 sehingga dibutuhkan pengecekan ulang, seperti penerimaan pembacaan ADC oleh sensor.

3.5.4 Perancangan *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*. Hal ini didasarkan karena tegangan PMSG harus diturunkan agar dapat digunakan untuk proses *charging* pada baterai. Rangkaian dari *buck converter* seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3.8 Rangkaian *buck converter*

Pada gambar 3.8 merupakan gambar rangkaian dasar *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 PMSG yang digunakan dan kapasitas baterai yang digunakan sehingga didapatkan komponen ideal. Untuk menentukan tegangan *input* pada *buck converter* diperoleh dari spesifikasi PMSG yaitu sebesar 130 V/ 1000 Rpm. Sedangkan untuk menentukan besar tegangan keluaran didapat dari spesifikasi *charging* baterai yaitu sebesar 12 Volt. Sedangkan arus maksimal didapat dari *charging* baterai yaitu 2 A. Untuk frekuensi yang digunakan dalam proses *switching* pada mosfet adalah 62,5KHz. Berikut ini spesifikasi DC/DC *Buck Converter* yang akan dibuat:

a. Perhitungan Duty Cycle

$$\begin{aligned} D_{\min} &= V_{\text{out}}/V_{\text{in}} \\ &= 12/15 = 0,8 \\ D_{\max} &= V_{\text{out}} / V_{\text{in}} \\ &= 12 / 200 = 0,06 \end{aligned}$$

b. Perhitungan kapasitas Induktor *Continuous Conduction Mode*.

$$\begin{aligned} \text{Besar } \textit{peak to peak ripple currents } \Delta I &= 30 \% \times I_{\text{out}} \\ &= 30 \% \times 2 \text{ A} \\ &= 0,6 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besar Induktor } L_{\min} &= D(V_{\text{in}}-V_{\text{out}}) / \Delta I \cdot F_s \\ &= 0,8 \cdot (15-12) / 0,6 \cdot 62,5 \text{ kHz} \\ &= 64 \text{ uH} \end{aligned}$$

c. Perhitungan kapasitas kapasitor *Continuous Conduction Mode*.

Besar *peak to peak ripple voltages* $\Delta V_1 = 1 \% \times V_o$

$$= 1 \% \times 12$$

$$= 0,12 \text{ V}$$

Besar Kapasitor $C_{out_{min}} = \Delta I_1 / 8 \cdot f_s \cdot \Delta V_1$

$$= 0,6 / 8 \cdot 62,5 \text{ kHz} \cdot 0,12$$

$$= 10 \text{ uF}$$

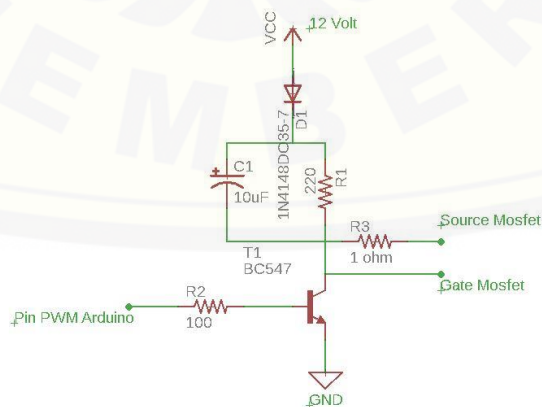


Tabel 3.4 Spesifikasi DC/DC *buck converter*

Tegangan Masukan	15 volt – 200 volt
Tegangan Keluaran	12 volt
I _{out}	2 Ampere
<i>Duty Cycle</i>	0,06 – 0,8
Frekuensi Switching	62,5 kHz
Nilai Induktor L	64 uH
Nilai Kapasitor Cout	10 uF

d. Rangkaian *Driver*

Driver berfungsi sebagai penguat sinyal PWM yang dikeluarkan dari pin 13 arduino UNO untuk memicu penyulutan saklar semikonduktor pada rangkaian daya. Saklar semikonduktor akan membuka secara sempurna jika mendapat masukan *duty cycle* 100% dengan tegangan sebesar 12V. Rangkaian *driver* menggunakan Transistor NPN BC547, diode IN4148, untuk filter resistor kapasitor menggunakan nilai kapasitor 10 uF / 50 V dan resistor sebesar 100 Ω untuk resistansi masuk ke gate, serta resistor 1 Ω untuk resistansi filter dari *source* MOSFET. dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut ini :

Gambar 3.9 Rangkaian *driver* MOSFET

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil Analisis dan pengujian penelitian yang berjudul “Rancang Bangun *Constant Current Charger* dari *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) dengan Kendali Logika *Fuzzy*” didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perancangan serta pembuatan *buck converter* diperoleh efisiensi tertinggi ketika *duty cycle* 60% dan resistansi 100 Ω dihasilkan daya masuk sebesar 8,89 Watt dan daya keluar sebesar 7,71 Watt, untuk efisiensi terendah ketika *duty cycle* 20% dihasilkan daya masuk sebesar 1,10 Watt dan daya keluar sebesar 0,41 Watt.
2. Pengecasan baterai dengan *constant current* 0,72 lebih cepat dan tepat, dapat dilihat pada table 4.13 bahwa hanya waktu 151 menit baterai sudah terisi lebih dari 70% dan kurang dari 90% kapasitas baterai, akan tetapi harus ditambahkan *constant voltage* pada pemrograman agar tidak terjadi *overvoltage* yang disebabkan penurunan arus secara alamiah dan mengharuskan kontroller menaikkan tegangan agar arus dapat menuju *set point*.

5.2 Saran

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

1. Jenis kontrol kestabilan arus dapat digantikan dengan kontrol *Neural-Network* ataupun *ANFIS* untuk dapat mendapatkan respon kontrol yang lebih baik ataupun sebagai perbandingan.
2. Perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan VSD (*Variable Speed Drives*) untuk menyesuaikan kecepatan motor induksi ke PMSG hingga memperoleh kecepatan yang diinginkan.

3. Penggunaan sensor arus dan sensor tegangan lebih cermat lagi dalam pengkalibrasian nya agar lebih akurat data yang dihasilkan.
4. Untuk penelitian selanjutnyaa disarankan menggunakan baterai dengan kapasitas baterai yang lebih besar dan pengujian dilakukan dengan *wind turbine*.



DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. (2017, September 16). *Cara Mengakses Modul Display LCD 16x2*. Diambil kembali dari Nyebarin Ilmu: <https://www.nyebarilmu.com>
- Armaditya, Heri S, Teguh Y. (2012). Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Variable Speed wind turbine (VSWT) dengan Permanent magnet synchronous generator (PMSG) menggunakan switch mode rectifier (SMR). *Teknik Pomits*, 1-6.
- Dzulfiqar Rais Mushthafa. (2011). Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power point Tracker (MPPT) dengan Metode Gradient Approximation. *Repository ITS*.
- Feri Y, Suryo M H. (2010). Rancang Bangun Buck Boost Konverter. *Real Time Measurement and Control Research Group*.
- Helmi Cahyo, E. (2018). Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker (MPPT) Dengan metode Perturb And Observe (P&O). *Jurusan Teknik Elektro Unesa*.
- Hidayat, D. (2015, Januari Kamis). <http://dayatarduino.blogspot.com/2015/01/pengertian-arduino-uno.html>. Dipetik 10 Sabtu, 2019, dari dayatarduino.blogspot.com: http://dayatarduino.blogspot.com/2015_01_01_archive.html
- Hilmansyah, R. J. (2017). Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Kendali Pi. *Jurnal Sains Terapan No. 1 Vol. 3*.
- Huynh Quang Minh, Nollet Frédéric, Essounbouli Najib, Hamzaoui Abdelaziz. (2011). Control of permanent magnet synchronous generator. *EUSFLAT-LFA*.
- Lady, A., Dean, M., Tony, D., & Kattni, R. (2014, March 12). *adafruit ina219 current sensor breakout*. Diambil kembali dari learn adafruit: <https://learn.adafruit.com>
- Novitasari. (2014). Optimalisasi Daya Output Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin menggunakan Permanent Magnet Synchronous Generator Berbasis Neural Network. *Teknik Elektro Unej*.

Pandhu Wicaksono, Iwan S, Darjat. (2008). KENDALI POSISI CANNON ARMY TANK MENGGUNAKAN EMBEDDED FUZZY LOGIC CONTROL. *UNDIP*.

product panasonic vrla 12V 7.2Ah. (t.thn.). Diambil kembali dari aneka global energi: <http://anekaglobalenergi.com/product/panasonic-vrla-12v-7-2ah-lc-v127r2na/>

Ratna I, Supriatna A, M Rifa'i. (2018). Desain Of Simple Power Converter For Small Scale Wind Turbine System For Batterry Charger. *IEEE*, 169-173.

store arduino. (t.thn.). Diambil kembali dari arduino: <https://www.arduino.cc/>

Tohir. (2016). Rancang Bangun Catu Daya Digital Menggunakan Buck Converter Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung*.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Pengecasan Selama 10 Jam

Waktu (Menit)	V in (Volt)	I in (Ampere)	V out (Volt)	I out (Ampere)	Waktu (Menit)	V in (Volt)	I in (Ampere)	V out (Volt)	I out (Ampere)
1	27.3	0.61	14.51	0.72	301	27.3	0.32	15.11	0.25
2	27.3	0.60	14.44	0.72	302	27.3	0.32	15.11	0.25
3	27.3	0.59	14.41	0.72	303	27.3	0.32	15.10	0.24
4	27.3	0.59	14.41	0.72	304	27.3	0.34	15.12	0.25
5	27.3	0.60	14.40	0.72	305	27.3	0.33	15.12	0.25
6	27.3	0.58	14.39	0.72	306	27.3	0.30	15.10	0.23
7	27.3	0.60	14.38	0.73	307	27.3	0.30	15.10	0.24
8	27.3	0.59	14.37	0.73	308	27.3	0.31	15.10	0.23
9	27.3	0.58	14.36	0.72	309	27.3	0.31	15.10	0.24
10	27.3	0.59	14.37	0.73	310	27.3	0.30	15.12	0.24
11	27.3	0.59	14.36	0.72	311	27.3	0.29	15.09	0.24
12	27.3	0.59	14.35	0.72	312	27.3	0.31	15.09	0.23
13	27.3	0.58	14.35	0.72	313	27.3	0.30	15.11	0.23
14	27.3	0.58	14.34	0.72	314	27.3	0.30	15.11	0.23
15	27.3	0.59	14.35	0.72	315	27.3	0.30	15.10	0.23
16	27.3	0.59	14.35	0.72	316	27.3	0.30	15.10	0.23
17	27.3	0.59	14.35	0.72	317	27.3	0.30	15.09	0.22
18	27.3	0.59	14.35	0.72	318	27.3	0.30	15.10	0.23
19	27.3	0.60	14.35	0.72	319	27.3	0.29	15.10	0.22
20	27.3	0.59	14.35	0.72	320	27.3	0.29	15.10	0.22
21	27.3	0.58	14.36	0.72	321	27.3	0.30	15.10	0.22
22	27.3	0.59	14.36	0.72	322	27.3	0.31	15.11	0.22
23	27.3	0.61	14.35	0.72	323	27.3	0.29	15.11	0.22
24	27.3	0.59	14.36	0.72	324	27.3	0.31	15.09	0.22
25	27.3	0.60	14.36	0.72	325	27.3	0.29	15.10	0.21
26	27.3	0.60	14.36	0.72	326	27.3	0.29	15.10	0.22
27	27.3	0.58	14.37	0.72	327	27.3	0.29	15.10	0.22

28	27.3	0.59	14.38	0.73	328	27.3	0.30	15.12	0.21
29	27.3	0.60	14.38	0.72	329	27.3	0.28	15.10	0.21
30	27.3	0.57	14.38	0.72	330	27.3	0.32	15.11	0.21
31	27.3	0.60	14.39	0.73	331	27.3	0.29	15.10	0.21
32	27.3	0.59	14.38	0.72	332	27.3	0.28	15.10	0.21
33	27.3	0.59	14.40	0.73	333	27.3	0.29	15.11	0.21
34	27.3	0.60	14.40	0.73	334	27.3	0.29	15.10	0.21
35	27.3	0.59	14.40	0.72	335	27.3	0.28	15.09	0.20
36	27.3	0.59	14.41	0.73	336	27.3	0.28	15.09	0.20
37	27.3	0.58	14.40	0.71	337	27.3	0.27	15.09	0.20
38	27.3	0.58	14.41	0.72	338	27.3	0.29	15.11	0.20
39	27.3	0.60	14.42	0.72	339	27.3	0.27	15.10	0.19
40	27.3	0.59	14.42	0.72	340	27.3	0.29	15.12	0.20
41	27.3	0.59	14.43	0.72	341	27.3	0.29	15.11	0.20
42	27.3	0.58	14.43	0.72	342	27.3	0.27	15.10	0.19
43	27.3	0.59	14.44	0.72	343	27.3	0.28	15.11	0.20
44	27.3	0.59	14.44	0.72	344	27.3	0.27	15.11	0.19
45	27.3	0.59	14.44	0.72	345	27.3	0.26	15.12	0.19
46	27.3	0.59	14.45	0.72	346	27.3	0.27	15.10	0.19
47	27.3	0.61	14.45	0.72	347	27.3	0.26	15.10	0.19
48	27.3	0.60	14.46	0.73	348	27.3	0.25	15.10	0.19
49	27.3	0.60	14.47	0.73	349	27.3	0.26	15.11	0.19
50	27.3	0.60	14.47	0.72	350	27.3	0.25	15.09	0.18
51	27.3	0.60	14.47	0.72	351	27.3	0.25	15.11	0.19
52	27.3	0.60	14.48	0.73	352	27.3	0.25	15.11	0.19
53	27.3	0.59	14.48	0.71	353	27.3	0.26	15.12	0.19
54	27.3	0.61	14.49	0.72	354	27.3	0.25	15.10	0.19
55	27.3	0.59	14.49	0.71	355	27.3	0.26	15.11	0.18
56	27.3	0.61	14.50	0.72	356	27.3	0.25	15.09	0.17
57	27.3	0.60	14.51	0.72	357	27.3	0.25	15.10	0.17
58	27.3	0.59	14.52	0.73	358	27.3	0.26	15.10	0.18
59	27.3	0.59	14.52	0.72	359	27.3	0.25	15.11	0.17
60	27.3	0.58	14.53	0.72	360	27.3	0.24	15.10	0.17
61	27.3	0.59	14.54	0.72	361	27.3	0.26	15.10	0.17
62	27.3	0.59	14.54	0.72	362	27.3	0.26	15.11	0.18
63	27.3	0.60	14.54	0.72	363	27.3	0.25	15.10	0.17
64	27.3	0.59	14.55	0.72	364	27.3	0.24	15.11	0.17
65	27.3	0.61	14.56	0.73	365	27.3	0.25	15.11	0.17
66	27.3	0.63	14.55	0.72	366	27.3	0.26	15.11	0.17

67	27.3	0.61	14.56	0.72	367	27.3	0.26	15.09	0.17
68	27.3	0.59	14.58	0.73	368	27.3	0.24	15.10	0.17
69	27.3	0.61	14.58	0.73	369	27.3	0.24	15.10	0.17
70	27.3	0.59	14.58	0.72	370	27.3	0.24	15.10	0.17
71	27.3	0.59	14.59	0.72	371	27.3	0.26	15.10	0.17
72	27.3	0.62	14.59	0.73	372	27.3	0.25	15.09	0.17
73	27.3	0.60	14.60	0.73	373	27.3	0.25	15.11	0.16
74	27.3	0.61	14.60	0.72	374	27.3	0.25	15.11	0.16
75	27.3	0.59	14.61	0.72	375	27.3	0.25	15.10	0.16
76	27.3	0.60	14.62	0.72	376	27.3	0.24	15.10	0.16
77	27.3	0.62	14.62	0.72	377	27.3	0.25	15.11	0.16
78	27.3	0.59	14.62	0.72	378	27.3	0.25	15.10	0.16
79	27.3	0.60	14.63	0.72	379	27.3	0.24	15.10	0.16
80	27.3	0.58	14.64	0.72	380	27.3	0.23	15.10	0.15
81	27.3	0.60	14.64	0.72	381	27.3	0.23	15.11	0.15
82	27.3	0.60	14.66	0.73	382	27.3	0.23	15.11	0.16
83	27.3	0.61	14.65	0.72	383	27.3	0.25	15.13	0.16
84	27.3	0.60	14.67	0.73	384	27.3	0.25	15.10	0.15
85	27.3	0.59	14.67	0.72	385	27.3	0.23	15.08	0.15
86	27.3	0.62	14.68	0.72	386	27.3	0.24	15.10	0.15
87	27.3	0.61	14.69	0.72	387	27.3	0.22	15.09	0.15
88	27.3	0.61	14.70	0.72	388	27.3	0.24	15.11	0.15
89	27.3	0.61	14.70	0.72	389	27.3	0.22	15.10	0.15
90	27.3	0.60	14.70	0.72	390	27.3	0.23	15.11	0.15
91	27.3	0.61	14.71	0.72	391	27.3	0.25	15.11	0.15
92	27.3	0.61	14.72	0.72	392	27.3	0.24	15.10	0.15
93	27.3	0.59	14.72	0.72	393	27.3	0.23	15.10	0.14
94	27.3	0.60	14.77	0.72	394	27.3	0.24	15.11	0.15
95	27.3	0.62	14.82	0.72	395	27.3	0.22	15.10	0.15
96	27.3	0.62	14.81	0.72	396	27.3	0.25	15.10	0.15
97	27.3	0.60	14.82	0.72	397	27.3	0.22	15.10	0.14
98	27.3	0.62	14.82	0.72	398	27.3	0.22	15.10	0.15
99	27.3	0.61	14.82	0.72	399	27.3	0.22	15.12	0.14
100	27.3	0.60	14.83	0.72	400	27.3	0.23	15.11	0.15
101	27.3	0.61	14.82	0.72	401	27.3	0.21	15.10	0.14
102	27.3	0.60	14.83	0.72	402	27.3	0.21	15.11	0.14
103	27.3	0.61	14.83	0.72	403	27.3	0.22	15.12	0.14
104	27.3	0.59	14.84	0.72	404	27.3	0.22	15.11	0.14
105	27.3	0.63	14.84	0.72	405	27.3	0.21	15.11	0.14

106	27.3	0.62	14.86	0.73	406	27.3	0.21	15.11	0.14
107	27.3	0.61	14.85	0.72	407	27.3	0.22	15.12	0.14
108	27.3	0.64	14.87	0.73	408	27.3	0.23	15.11	0.14
109	27.3	0.61	14.86	0.72	409	27.3	0.21	15.11	0.14
110	27.3	0.61	14.88	0.73	410	27.3	0.22	15.10	0.14
111	27.3	0.62	14.89	0.72	411	27.3	0.22	15.10	0.14
112	27.3	0.63	14.89	0.72	412	27.3	0.21	15.10	0.14
113	27.3	0.62	14.90	0.72	413	27.3	0.21	15.10	0.13
114	27.3	0.61	14.91	0.72	414	27.3	0.21	15.11	0.13
115	27.3	0.63	14.91	0.72	415	27.3	0.22	15.11	0.13
116	27.3	0.61	14.91	0.72	416	27.3	0.20	15.11	0.13
117	27.3	0.61	14.92	0.72	417	27.3	0.21	15.10	0.13
118	27.3	0.62	14.93	0.72	418	27.3	0.22	15.10	0.14
119	27.3	0.61	14.93	0.72	419	27.3	0.19	15.10	0.14
120	27.3	0.60	14.93	0.72	420	27.3	0.20	15.09	0.13
121	27.3	0.63	14.94	0.72	421	27.3	0.20	15.11	0.13
122	27.3	0.62	14.96	0.72	422	27.3	0.21	15.10	0.13
123	27.3	0.61	14.96	0.72	423	27.3	0.21	15.09	0.13
124	27.3	0.61	14.97	0.72	424	27.3	0.21	15.12	0.13
125	27.3	0.62	14.98	0.72	425	27.3	0.22	15.10	0.13
126	27.3	0.61	14.99	0.73	426	27.3	0.21	15.09	0.13
127	27.3	0.67	15.10	0.80	427	27.3	0.18	15.10	0.13
128	27.3	0.66	15.10	0.79	428	27.3	0.19	15.11	0.13
129	27.3	0.64	15.09	0.78	429	27.3	0.21	15.09	0.13
130	27.3	0.65	15.10	0.78	430	27.3	0.19	15.10	0.13
131	27.3	0.63	15.10	0.77	431	27.3	0.21	15.10	0.13
132	27.3	0.65	15.09	0.76	432	27.3	0.19	15.10	0.13
133	27.3	0.64	15.11	0.76	433	27.3	0.21	15.10	0.13
134	27.3	0.64	15.09	0.75	434	27.3	0.21	15.11	0.13
135	27.3	0.62	15.10	0.74	435	27.3	0.19	15.11	0.13
136	27.3	0.63	15.10	0.74	436	27.3	0.19	15.12	0.12
137	27.3	0.63	15.10	0.74	437	27.3	0.19	15.10	0.13
138	27.3	0.63	15.10	0.75	438	27.3	0.21	15.11	0.13
139	27.3	0.66	15.10	0.75	439	27.3	0.18	15.10	0.13
140	27.3	0.62	15.10	0.74	440	27.3	0.20	15.10	0.13
141	27.3	0.63	15.10	0.74	441	27.3	0.19	15.10	0.12
142	27.3	0.60	15.11	0.73	442	27.3	0.19	15.10	0.12
143	27.3	0.60	15.10	0.73	443	27.3	0.19	15.11	0.13
144	27.3	0.62	15.11	0.73	444	27.3	0.20	15.11	0.12

145	27.3	0.62	15.10	0.72	445	27.3	0.20	15.10	0.13
146	27.3	0.61	15.10	0.71	446	27.3	0.18	15.11	0.13
147	27.3	0.61	15.11	0.72	447	27.3	0.18	15.11	0.12
148	27.3	0.60	15.11	0.72	448	27.3	0.21	15.12	0.12
149	27.3	0.60	15.10	0.71	449	27.3	0.20	15.12	0.12
150	27.3	0.59	15.10	0.70	450	27.3	0.20	15.10	0.12
151	27.3	0.60	15.10	0.70	451	27.3	0.18	15.11	0.12
152	27.3	0.59	15.11	0.69	452	27.3	0.19	15.12	0.12
153	27.3	0.59	15.11	0.69	453	27.3	0.19	15.10	0.12
154	27.3	0.59	15.12	0.69	454	27.3	0.19	15.11	0.12
155	27.3	0.57	15.11	0.69	455	27.3	0.19	15.12	0.12
156	27.3	0.58	15.11	0.68	456	27.3	0.19	15.11	0.12
157	27.3	0.58	15.12	0.68	457	27.3	0.18	15.09	0.12
158	27.3	0.59	15.11	0.67	458	27.3	0.19	15.10	0.12
159	27.3	0.56	15.10	0.67	459	27.3	0.18	15.11	0.12
160	27.3	0.57	15.10	0.67	460	27.3	0.19	15.11	0.12
161	27.3	0.56	15.11	0.67	461	27.3	0.17	15.11	0.12
162	27.3	0.57	15.11	0.66	462	27.3	0.17	15.09	0.11
163	27.3	0.58	15.10	0.65	463	27.3	0.18	15.10	0.11
164	27.3	0.55	15.10	0.65	464	27.3	0.17	15.11	0.12
165	27.3	0.55	15.09	0.65	465	27.3	0.19	15.10	0.12
166	27.3	0.56	15.11	0.64	466	27.3	0.17	15.09	0.12
167	27.3	0.53	15.11	0.64	467	27.3	0.19	15.12	0.12
168	27.3	0.53	15.10	0.63	468	27.3	0.19	15.11	0.12
169	27.3	0.54	15.12	0.63	469	27.3	0.18	15.11	0.12
170	27.3	0.55	15.10	0.62	470	27.3	0.18	15.10	0.12
171	27.3	0.53	15.10	0.62	471	27.3	0.19	15.11	0.12
172	27.3	0.53	15.12	0.62	472	27.3	0.19	15.10	0.11
173	27.3	0.55	15.12	0.62	473	27.3	0.18	15.10	0.11
174	27.3	0.53	15.11	0.61	474	27.3	0.18	15.09	0.11
175	27.3	0.53	15.11	0.61	475	27.3	0.19	15.12	0.11
176	27.3	0.54	15.10	0.60	476	27.3	0.17	15.11	0.11
177	27.3	0.53	15.10	0.60	477	27.3	0.17	15.11	0.11
178	27.3	0.53	15.11	0.60	478	27.3	0.19	15.11	0.11
179	27.3	0.50	15.10	0.59	479	27.3	0.18	15.10	0.11
180	27.3	0.50	15.11	0.59	480	27.3	0.19	15.12	0.11
181	27.3	0.50	15.10	0.57	481	27.3	0.18	15.09	0.11
182	27.3	0.50	15.10	0.57	482	27.3	0.18	15.09	0.11
183	27.3	0.50	15.10	0.57	483	27.3	0.17	15.11	0.11

184	27.3	0.50	15.10	0.57	484	27.3	0.18	15.11	0.11
185	27.3	0.49	15.11	0.56	485	27.3	0.19	15.10	0.11
186	27.3	0.49	15.10	0.56	486	27.3	0.18	15.11	0.11
187	27.3	0.48	15.11	0.56	487	27.3	0.18	15.11	0.11
188	27.3	0.50	15.12	0.56	488	27.3	0.19	15.11	0.11
189	27.3	0.49	15.09	0.54	489	27.3	0.16	15.10	0.11
190	27.3	0.49	15.11	0.55	490	27.3	0.19	15.09	0.11
191	27.3	0.48	15.10	0.54	491	27.3	0.17	15.10	0.11
192	27.3	0.49	15.10	0.54	492	27.3	0.18	15.10	0.11
193	27.3	0.48	15.10	0.54	493	27.3	0.16	15.10	0.11
194	27.3	0.47	15.11	0.54	494	27.3	0.17	15.11	0.11
195	27.3	0.49	15.10	0.53	495	27.3	0.19	15.11	0.11
196	27.3	0.47	15.11	0.52	496	27.3	0.19	15.11	0.11
197	27.3	0.48	15.09	0.52	497	27.3	0.18	15.11	0.11
198	27.3	0.47	15.11	0.52	498	27.3	0.16	15.11	0.11
199	27.3	0.48	15.11	0.52	499	27.3	0.17	15.11	0.11
200	27.3	0.47	15.09	0.51	500	27.3	0.19	15.10	0.11
201	27.3	0.47	15.10	0.50	501	27.3	0.18	15.11	0.11
202	27.3	0.45	15.10	0.50	502	27.3	0.17	15.10	0.11
203	27.3	0.47	15.09	0.49	503	27.3	0.17	15.09	0.10
204	27.3	0.45	15.09	0.50	504	27.3	0.17	15.12	0.11
205	27.3	0.48	15.10	0.49	505	27.3	0.17	15.11	0.10
206	27.3	0.48	15.11	0.49	506	27.3	0.18	15.10	0.11
207	27.3	0.48	15.10	0.49	507	27.3	0.18	15.12	0.11
208	27.3	0.48	15.11	0.49	508	27.3	0.19	15.12	0.11
209	27.3	0.47	15.11	0.48	509	27.3	0.17	15.10	0.11
210	27.3	0.46	15.10	0.48	510	27.3	0.17	15.11	0.10
211	27.3	0.45	15.10	0.47	511	27.3	0.17	15.11	0.10
212	27.3	0.47	15.10	0.47	512	27.3	0.19	15.10	0.10
213	27.3	0.48	15.10	0.47	513	27.3	0.17	15.12	0.11
214	27.3	0.45	15.11	0.47	514	27.3	0.18	15.10	0.10
215	27.3	0.48	15.11	0.47	515	27.3	0.18	15.10	0.10
216	27.3	0.48	15.10	0.46	516	27.3	0.18	15.10	0.10
217	27.3	0.46	15.10	0.46	517	27.3	0.17	15.09	0.10
218	27.3	0.46	15.11	0.46	518	27.3	0.17	15.10	0.10
219	27.3	0.47	15.10	0.45	519	27.3	0.18	15.11	0.10
220	27.3	0.47	15.09	0.44	520	27.3	0.18	15.11	0.10
221	27.3	0.46	15.11	0.45	521	27.3	0.19	15.10	0.10
222	27.3	0.44	15.10	0.44	522	27.3	0.19	15.11	0.10

223	27.3	0.45	15.10	0.44	523	27.3	0.17	15.10	0.10
224	27.3	0.47	15.10	0.44	524	27.3	0.17	15.10	0.10
225	27.3	0.44	15.10	0.43	525	27.3	0.16	15.10	0.10
226	27.3	0.45	15.11	0.43	526	27.3	0.16	15.09	0.10
227	27.3	0.46	15.11	0.43	527	27.3	0.17	15.11	0.10
228	27.3	0.44	15.10	0.42	528	27.3	0.18	15.11	0.10
229	27.3	0.45	15.11	0.42	529	27.3	0.18	15.10	0.10
230	27.3	0.44	15.10	0.41	530	27.3	0.16	15.10	0.10
231	27.3	0.44	15.10	0.41	531	27.3	0.18	15.10	0.10
232	27.3	0.43	15.11	0.41	532	27.3	0.17	15.10	0.10
233	27.3	0.45	15.10	0.41	533	27.3	0.19	15.11	0.10
234	27.3	0.43	15.10	0.40	534	27.3	0.16	15.10	0.10
235	27.3	0.46	15.10	0.40	535	27.3	0.18	15.10	0.10
236	27.3	0.46	15.10	0.40	536	27.3	0.16	15.11	0.10
237	27.3	0.42	15.11	0.40	537	27.3	0.17	15.10	0.10
238	27.3	0.42	15.09	0.39	538	27.3	0.16	15.11	0.10
239	27.3	0.41	15.10	0.39	539	27.3	0.17	15.10	0.10
240	27.3	0.44	15.10	0.39	540	27.3	0.19	15.10	0.10
241	27.3	0.42	15.11	0.39	541	27.3	0.17	15.10	0.10
242	27.3	0.42	15.11	0.39	542	27.3	0.17	15.10	0.10
243	27.3	0.41	15.09	0.38	543	27.3	0.18	15.10	0.10
244	27.3	0.41	15.10	0.38	544	27.3	0.17	15.10	0.10
245	27.3	0.40	15.11	0.38	545	27.3	0.17	15.10	0.10
246	27.3	0.41	15.11	0.38	546	27.3	0.17	15.11	0.10
247	27.3	0.44	15.12	0.38	547	27.3	0.17	15.11	0.10
248	27.3	0.40	15.10	0.37	548	27.3	0.17	15.11	0.10
249	27.3	0.42	15.10	0.37	549	27.3	0.17	15.10	0.10
250	27.3	0.42	15.11	0.37	550	27.3	0.17	15.10	0.10
251	27.3	0.40	15.12	0.37	551	27.3	0.17	15.10	0.10
252	27.3	0.39	15.11	0.36	552	27.3	0.17	15.10	0.10
253	27.3	0.38	15.10	0.36	553	27.3	0.15	15.11	0.10
254	27.3	0.38	15.11	0.36	554	27.3	0.17	15.11	0.10
255	27.3	0.38	15.10	0.36	555	27.3	0.17	15.10	0.10
256	27.3	0.38	15.11	0.36	556	27.3	0.17	15.10	0.10
257	27.3	0.38	15.11	0.36	557	27.3	0.17	15.10	0.10
258	27.3	0.39	15.11	0.36	558	27.3	0.16	15.10	0.10
259	27.3	0.38	15.11	0.35	559	27.3	0.18	15.10	0.10
260	27.3	0.38	15.09	0.34	560	27.3	0.17	15.11	0.10
261	27.3	0.40	15.10	0.35	561	27.3	0.16	15.10	0.10

262	27.3	0.40	15.11	0.35	562	27.3	0.17	15.09	0.10
263	27.3	0.38	15.11	0.34	563	27.3	0.16	15.10	0.10
264	27.3	0.40	15.10	0.34	564	27.3	0.16	15.10	0.10
265	27.3	0.38	15.11	0.34	565	27.3	0.16	15.10	0.10
266	27.3	0.37	15.11	0.34	566	27.3	0.15	15.11	0.10
267	27.3	0.39	15.11	0.34	567	27.3	0.16	15.10	0.10
268	27.3	0.37	15.11	0.33	568	27.3	0.17	15.10	0.10
269	27.3	0.38	15.10	0.33	569	27.3	0.16	15.10	0.10
270	27.3	0.38	15.11	0.33	570	27.3	0.17	15.10	0.10
271	27.3	0.39	15.11	0.33	571	27.3	0.16	15.10	0.10
272	27.3	0.37	15.10	0.32	572	27.3	0.16	15.10	0.10
273	27.3	0.38	15.11	0.32	573	27.3	0.17	15.10	0.10
274	27.3	0.38	15.11	0.32	574	27.3	0.17	15.09	0.10
275	27.3	0.36	15.10	0.31	575	27.3	0.15	15.10	0.09
276	27.3	0.36	15.10	0.31	576	27.3	0.17	15.11	0.10
277	27.3	0.36	15.11	0.31	577	27.3	0.17	15.10	0.10
278	27.3	0.35	15.11	0.30	578	27.3	0.17	15.10	0.10
279	27.3	0.36	15.11	0.30	579	27.3	0.17	15.10	0.10
280	27.3	0.36	15.10	0.30	580	27.3	0.16	15.10	0.10
281	27.3	0.34	15.10	0.29	581	27.3	0.17	15.10	0.10
282	27.3	0.35	15.12	0.30	582	27.3	0.17	15.10	0.10
283	27.3	0.36	15.10	0.30	583	27.3	0.16	15.11	0.10
284	27.3	0.35	15.11	0.29	584	27.3	0.16	15.11	0.10
285	27.3	0.35	15.10	0.29	585	27.3	0.17	15.10	0.10
286	27.3	0.32	15.11	0.29	586	27.3	0.16	15.09	0.10
287	27.3	0.35	15.12	0.29	587	27.3	0.16	15.11	0.10
288	27.3	0.35	15.10	0.28	588	27.3	0.17	15.10	0.10
289	27.3	0.35	15.09	0.28	589	27.3	0.17	15.10	0.10
290	27.3	0.35	15.10	0.28	590	27.3	0.17	15.09	0.10
291	27.3	0.33	15.11	0.28	591	27.3	0.16	15.09	0.10
292	27.3	0.33	15.09	0.26	592	27.3	0.18	15.11	0.10
293	27.3	0.33	15.12	0.27	593	27.3	0.16	15.10	0.10
294	27.3	0.32	15.10	0.26	594	27.3	0.17	15.10	0.10
295	27.3	0.34	15.11	0.26	595	27.3	0.18	15.09	0.10
296	27.3	0.33	15.11	0.26	596	27.3	0.17	15.12	0.10
297	27.3	0.32	15.11	0.26	597	27.3	0.17	15.10	0.10
298	27.3	0.33	15.10	0.26	598	27.3	0.15	15.11	0.09
299	27.3	0.32	15.10	0.25	599	27.3	0.16	15.09	0.09
300	27.3	0.31	15.10	0.25	600	27.3	0.17	15.12	0.09

Lampiran B. Listing Program

```

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <Adafruit_INA219.h>

#define Iin_SCALE 0.0567534722

#define AVG_NUM 10

Adafruit_INA219 sensor219; // Declare and instance of INA219

const int VinCH = A0; // Declare analog input pin for voltage (input)
sensor

const int IinCH = A1; // Declare analog input pin for Current (input)
sensor

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // Set the LCD
address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display

uint8_t AB=0, mode=0, delay_check=0;

uint8_t led_state=0;

uint16_t ADC_Vin=0, ADC_Iin=0;

float Vin=0, Iin=0;

float current_mA = 0, Iout=0, Vout=0;

char buffer[100];

char dc_str[10],
    Vin_str[10],
    Iin_str[10],
    Vout_str[10],
    Iout_str[10];

uint32_t sumADC_Vin = 0,
        sumADC_Iin = 0;

```

```

uint16_t ADC_DataVin = 0,
        ADC_DataLin = 0;
float   avgADC_Vin = 0,
        avgADC_Lin = 0;

// multitasking variable initialization
long   prevMillis_control = 0,
        prevMillis_ADC = 0,
        prevMillis_display = 0,
        interval_control = 100*64, //100 milisecon
        interval_ADC = 50*64, //50 milisecon
        interval_display = 200*64; //500 milisecon
uint8_t interval_serial = 0;

//Fuzzy initialize
float eNB, eNM, eNS, eZ, ePS, ePM, ePB;
float dNB, dNM, dNS, dZ, dPS, dPM, dPB;
float oNH=1, oNB=0.5, oNM=0.25, oNS=0.1, oZ=0, oPS=-0.1, oPM=-0.25,
oPB=-0.5, oPH=-1;
float r1,r2,r3,r4,r5,r6,r7,r8,r9,r10,r11,r12,r13,r14,r15;
float r16, r17, r18, r19, r20, r21, r22, r23, r24;
float r25,r26,r27,r28,r29,r30,r31,r32,r33,r34,r35;
float r36,r37,r38,r39,r40,r41,r42,r43,r44,r45,r46,r47,r48,r49;
float A,B,e,d,sp,pv,esblm=0,C,D,E,F,G,H,I,J,dc=85, last_dc=85,step,pwm;

void setup()
{
    pinMode(9, OUTPUT); //on board LED setting

```



```
pinMode(13, OUTPUT); //PWM pin setting

//Setting frequency 62,5 KHz

TCCR0B = (TCCR0B & 0b11111000) | 1;

//serial communication setup

serial.begin(9600);

// initialize the LCD

lcd.begin(16,2);

//initialize the Sensor

sensor219.begin();

// Turn on the lcd backlight

lcd.backlight();

}

void loop()

{

if(millis()-prevMillis_control > interval_control){

prevMillis_control = millis();

fuzzy_Control();

delay_check+=1;

if(delay_check>=20){

delay_check=20;

}

}

}

if(millis()-prevMillis_ADC > interval_ADC){

prevMillis_ADC = millis();
```

```
led_state=!led_state;
digitalWrite(9,led_state);
read_adc();
}
if(millis()-prevMillis_display > interval_display){
    prevMillis_display = millis();
    interval_serial += 1;
    if(interval_serial == 150){ // delay pengiriman program
        Serial.print(Vin); Serial.print("\t");
        Serial.print(Vout); Serial.print("\t");
        Serial.print(Iin); Serial.print("\t");
        Serial.print(Iout); Serial.print("\t");
        Serial.print(pwm); Serial.print("\t");
        Serial.print(dc); Serial.print("\t");
        Serial.print(mode); Serial.print("\t");
        Serial.println(last_dc); Serial.print("\t");
        interval_serial = 0;
    }
    dtostrf(Vin,4,2,Vin_str);
    sprintf(buffer,"Vi=%-5s", Vin_str);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(buffer);
    dtostrf(Iin,4,2,Iin_str);
    sprintf(buffer,"Ii=%-5s", Iin_str);
    lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print(buffer);
dtostrf(Vout,4,2,Vout_str);
sprintf(buffer,"Vo=%-5s", Vout_str);
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print(buffer);
dtostrf(Iout,4,2,Iout_str);
sprintf(buffer,"Io=%-5s", Iout_str);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print(buffer);
}
}
void read_adc()
{
uint8_t i;
for (i=0; i<AVG_NUM; i++){
ADC_DataVin = analogRead(VinCH);
ADC_DataIin = analogRead(IinCH);
sumADC_Vin += ADC_DataVin;
sumADC_Iin += ADC_DataIin;
}
avgADC_Vin = (float) sumADC_Vin / AVG_NUM;
avgADC_Iin = (float) sumADC_Iin / AVG_NUM;
sumADC_Vin = 0, sumADC_Iin = 0;
}
void fuzzy_Control(){
```

```

AB=AB+1;
if(AB>=255){
  AB=0;
  lcd.clear();
}
//analogWrite(9,A);
current_mA = sensor219.getCurrent_mA();
Iout=current_mA/1000;
Vout = sensor219.getBusVoltage_V();
Vin = (avgADC_Vin*0.1881) + 0.5107-1.9;
Iin = avgADC_Iin*Iin_SCALE - 28.89;
if(Vin<=0) Vin = 0;
if(Iin<=0) Iin = 0;
sp=0.72;
pv=Iout;
e=sp-pv;
d=e-esblm;
esblm=e;
//////////fuzzifikasi error//////////
if(e<=-0.75)
{ eNB=1; eNM=eNS=eZ=ePS=ePM=ePB=0;}
if(e>=-0.75&&e<=-0.50)
{ eNB=(-(e+0.75)/0.25)+1;
  eNM=(e+0.75)/0.25;
  eNS=eZ=ePS=ePM=ePB=0;
}

```

```

}
else if(e>=-0.50&&e<=-0.25)
{ eNM=(-(e+0.50)/0.25)+1;
  eNS=(e+0.50)/0.25;
  eNB=eZ=ePS=ePM=ePB=0;
}
else if(e>=-0.25&&e<=0)
{ eNS=(-(e+0.25)/0.25)+1;
  eZ=(e/0.25)+1;
  eNB=eNM=ePS=ePM=ePB=0;
}
else if(e>=0&&e<=0.25)
{ eZ=-(e/0.25)+1;
  ePS=e/0.25;
  eNB=eNM=eNS=ePM=ePB=0;
}
else if(e>=0.25&&e<=0.50)
{ ePS=(-(e-0.25)/0.25)+1;
  ePM=(e-0.25)/0.25;
  eNB=eNM=eNS=eZ=ePB=0;
}
else if(e>=0.50&&e<=0.75)
{ ePM=(-(e-0.50)/0.25)+1;
  ePB=(e-0.50)/0.25;
  eNB=eNM=eNS=eZ=ePS=0;
}

```

```

}
else if(e>=0.75)
{ ePB=1; eNB=eNM=eNS=eZ=ePS=ePM=0;}
//////////fuzzifikasi delta error //////////
if(d<=-0.75)
{ dNB=1; dNM=dNS=dZ=dPS=dPM=dPB=0;}
if(d>=-0.75&& d<=-0.50)
{ dNB=(-(d+0.75)/0.25)+1;
  dNM=(d+0.75)/10;
  dNS=dZ=dPS=dPM=dPB=0;
}
else if(d>=-0.5&& d<=-0.25)
{ dNM=(-(d+0.5)/0.25)+1;
  dNS=(d+0.5)/0.25;
  dNB=dZ=dPS=dPM=dPB=0;
}
else if(d>=-0.25&& d<=0)
{ dNS=(-(d+0.25)/0.25)+1;
  dZ=(d+0.25)/0.25;
  dNB=dNM=dPS=dPM=dPB=0;
}
else if(d>=0&& d<=0.25)
{ dZ=-(d/0.25)+1;
  dPS=d/0.25;
  dNB=dNM=dNS=dPM=dPB=0;
}

```

```

}
else if(d>=0.25&&d<=0.5)
{ dPS=(-(d-0.25)/0.25)+1;
  dPM=(d-0.25)/0.25;
  dNB=dNM=dNS=dZ=dPB=0;
}
else if(d>=0.5&&d<=0.75)
{ dPM=(-(d-0.50)/0.25)+1;
  dPB=(d-0.50)/0.25;
  dNB=dNM=dNS=dZ=dPS=0;
}
else if(d>=0.75)
{ dPB=1; dNB=dNM=dNS=dZ=dPS=dPM=0;}
////////////////////inferensi/rule base////////////////////
r1=dPB; if(eNB<dPB) r1=eNB;//max(dPB,eNB);
r2=dPB; if(eNM<dPB) r2=eNM;
r3=dPB; if(eNS<dPB) r3=eNS;
r4=dPB; if(eZ<dPB) r4=eZ;
r5=dPB; if(ePS<dPB) r5=ePS;
r6=dPB; if(ePM<dPB) r6=ePM;
r7=dPB; if(ePB<dPB) r7=ePB;
r8=dPM; if(eNB<dPM) r8=eNB; //r8=max(dPM,eNB);
r9=dPM; if(eNM<dPM) r9=eNM; //r9=max(dPM,eNM);
r10=dPM; if(eNS<dPM) r10=eNS; //r10=max(dPM,eNS);
r11=dPM; if(eZ<dPM) r11=eZ; //r11=max(dPM,eZ);

```

$r_{12} = d_{PM}; \text{if}(e_{PS} < d_{PM}) r_{12} = e_{PS}; //r_{12} = \max(d_{PM}, e_{PS});$
 $r_{13} = d_{PM}; \text{if}(e_{PM} < d_{PM}) r_{13} = e_{PM}; //r_{13} = \max(d_{PM}, e_{PM});$
 $r_{14} = d_{PM}; \text{if}(e_{PB} < d_{PM}) r_{14} = e_{PB}; //r_{14} = \max(d_{PM}, e_{PB});$
 $r_{15} = d_{PS}; \text{if}(e_{NB} < d_{PS}) r_{15} = e_{NB}; //r_{15} = \max(d_{PS}, e_{NB});$
 $r_{16} = d_{PS}; \text{if}(e_{NM} < d_{PS}) r_{16} = e_{NM}; //r_{16} = \max(d_{PS}, e_{NM});$
 $r_{17} = d_{PS}; \text{if}(e_{NS} < d_{PS}) r_{17} = e_{NS}; //r_{17} = \max(d_{PS}, e_{NS});$
 $r_{18} = d_{PS}; \text{if}(e_Z < d_{PS}) r_{18} = e_Z; //r_{18} = \max(d_{PS}, e_Z);$
 $r_{19} = d_{PS}; \text{if}(e_{PS} < d_{PS}) r_{19} = e_{PS}; //r_{19} = \max(d_{PS}, e_{PS});$
 $r_{20} = d_{PS}; \text{if}(e_{PM} < d_{PS}) r_{20} = e_{PM}; //r_{20} = \max(d_{PS}, e_{PM});$
 $r_{21} = d_{PS}; \text{if}(e_{PB} < d_{PS}) r_{21} = e_{PB}; //r_{21} = \max(d_{PS}, e_{PB});$
 $r_{22} = d_Z; \text{if}(e_{NB} < d_Z) r_{22} = e_{NB}; //r_{22} = \max(d_Z, e_{NB});$
 $r_{23} = d_Z; \text{if}(e_{NM} < d_Z) r_{23} = e_{NM}; //r_{23} = \max(d_Z, e_{NM});$
 $r_{24} = d_Z; \text{if}(e_{NS} < d_Z) r_{24} = e_{NS}; //r_{24} = \max(d_Z, e_{NS});$
 $r_{25} = d_Z; \text{if}(e_Z < d_Z) r_{25} = e_Z; //r_{25} = \max(d_Z, e_Z);$
 $r_{26} = d_Z; \text{if}(e_{PS} < d_Z) r_{26} = e_{PS}; //r_{26} = \max(d_Z, e_{PS});$
 $r_{27} = d_Z; \text{if}(e_{PM} < d_Z) r_{27} = e_{PM}; //r_{27} = \max(d_Z, e_{PM});$
 $r_{28} = d_Z; \text{if}(e_{PB} < d_Z) r_{28} = e_{PB}; //r_{28} = \max(d_Z, e_{PB});$
 $r_{29} = d_{NS}; \text{if}(e_{NB} < d_{NS}) r_{29} = e_{NB}; //r_{29} = \max(d_{NS}, e_{NB});$
 $r_{30} = d_{NS}; \text{if}(e_{NM} < d_{NS}) r_{30} = e_{NM}; //r_{30} = \max(d_{NS}, e_{NM});$
 $r_{31} = d_{NS}; \text{if}(e_{NS} < d_{NS}) r_{31} = e_{NS}; //r_{31} = \max(d_{NS}, e_{NS});$
 $r_{32} = d_{NS}; \text{if}(e_Z < d_{NS}) r_{32} = e_Z; //r_{32} = \max(d_{NS}, e_Z);$
 $r_{33} = d_{NS}; \text{if}(e_{PS} < d_{NS}) r_{33} = e_{PS}; //r_{33} = \max(d_{NS}, e_{PS});$
 $r_{34} = d_{NS}; \text{if}(e_{PM} < d_{NS}) r_{34} = e_{PM}; //r_{34} = \max(d_{NS}, e_{PM});$
 $r_{35} = d_{NS}; \text{if}(e_{PB} < d_{NS}) r_{35} = e_{PB}; //r_{35} = \max(d_{NS}, e_{PB});$
 $r_{36} = d_{NM}; \text{if}(e_{NB} < d_{NM}) r_{36} = e_{NB}; //r_{36} = \max(d_{NM}, e_{NB});$

r37=dNM; if(eNM<dNM) r37=eNM; //r37=max(dNM,eNM);

r38=dNM; if(eNS<dNM) r38=eNS; //r38=max(dNM,eNS);

r39=dNM; if(eZ<dNM) r39=eZ; //r39=max(dNM,eZ);

r40=dNM; if(ePS<dNM) r40=ePS; //r40=max(dNM,ePS);

r41=dNM; if(ePM<dNM) r41=ePM; //r41=max(dNM,ePM);

r42=dNM; if(ePB<dNM) r42=ePB; //r42=max(dNM,ePB);

r43=dNB; if(eNB<dNB) r43=eNB; //r43=max(dNB,eNB);

r44=dNB; if(eNM<dNB) r44=eNM; //r44=max(dNB,eNM);

r45=dNB; if(eNS<dNB) r45=eNS; //r45=max(dNB,eNS);

r46=dNB; if(eZ<dNB) r46=eZ; //r46=max(dNB,eZ);

r47=dNB; if(ePS<dNB) r47=ePS; //r47=max(dNB,ePS);

r48=dNB; if(ePM<dNB) r48=ePM; //r48=max(dNB,ePM);

r49=dNB; if(ePB<dNB) r49=ePB; //r49=max(dNB,ePB);

//////////////////////////////////DEFUZZIFIKASI//////////////////////////////////

A=(r1*oZ)+(r2*oPS)+(r3*oPM)+(r4*oPB)+(r5*oPH)+(r6*oPH)+(r7*oPH);

B=(r8*oNS)+(r9*oZ)+(r10*oPS)+(r11*oPM)+(r12*oPB)+(r13*oPH)+(r14*oPH);

C=(r15*oNM)+(r16*oNS)+(r17*oZ)+(r18*oPS)+(r19*oPM)+(r20*oPB)+(r21*oP
H);

D=(r22*oNB)+(r23*oNM)+(r24*oNS)+(r25*oZ)+(r26*oPS)+(r27*oPM)+(r28*oP
B);

E=(r29*oNH)+(r30*oNB)+(r31*oNM)+(r32*oNS)+(r33*oZ)+(r34*oPS)+(r35*oP
M);

F=(r36*oNH)+(r37*oNH)+(r38*oNB)+(r39*oNM)+(r40*oNS)+(r41*oZ)+(r42*o
PS);

G=(r43*oNH)+(r44*oNH)+(r45*oNH)+(r46*oNB)+(r47*oNM)+(r48*oNS)+(r49
*oZ);

H=r1+r2+r3+r4+r5+r6+r7+r8+r9+r10+r11+r12+r13+r14+r15+r16+ r17+ r18+
r19+ r20+ r21+ r22+ r23+ r24+r25

```
+r26+r27+r28+r29+r30+r31+r32+r33+r34+r35+r36+r37+r38+r39+r40+r41+r42+r  
43+r44+r45+r46+r47+r48+r49;
```

```
step=(A+B+C+D+E+F+G)/H;
```

```
dc=dc+step;
```

```
if(dc>=85)
```

```
    dc=85;
```

```
if(dc<=2)
```

```
    dc=2;
```

```
if (Vout >= 15 && delay_check >= 10){
```

```
    mode=1;
```

```
}
```

```
if(mode==0){
```

```
    pwm=(dc*255)/100;
```

```
    last_dc=dc;
```

```
}
```

```
else{
```

```
    pwm=(last_dc*255)/100;
```

```
    if(Vout>15.1){
```

```
        last_dc=last_dc+0.1;
```

```
    }
```

```
    else {
```

```
        last_dc=last_dc-0.1;
```

```
    }
```

```
}
```

```
/*
```

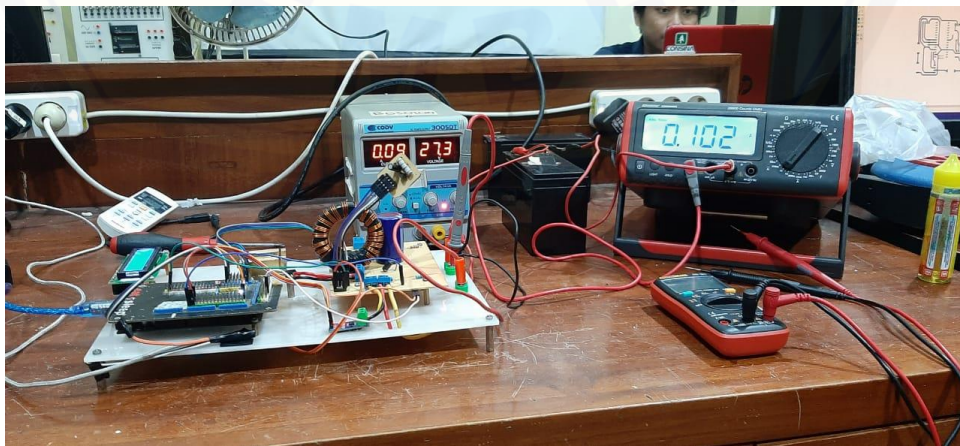
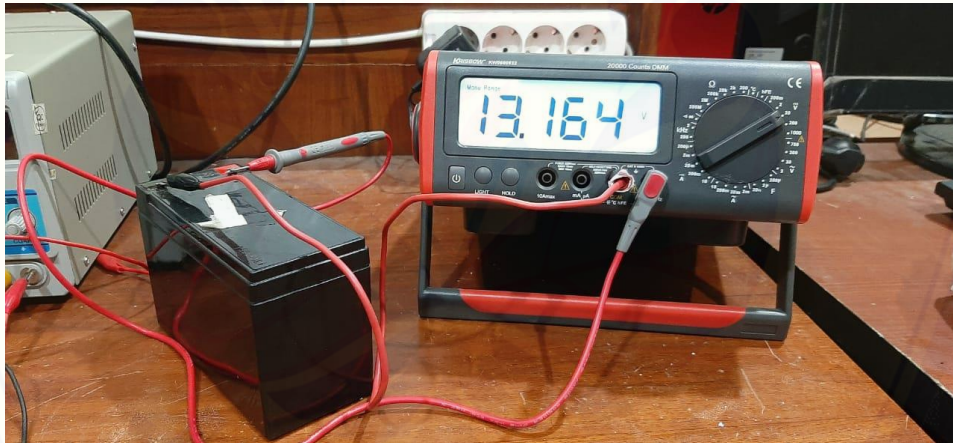
```
if (Vout <= 15){
    pwm=(dc*255)/100;
    last_pwm=pwm;
}
else if(Vout>15.1){
    pwm=pwm+0.5;
    last_pwm=pwm;
}
else {
    pwm=(last_pwm*255)/100;
}
*/
    analogWrite(13,pwm);
}
```

Lampiran C. Lampiran Gambar

▪ **Kondisi Awal Baterai**



▪ **Kondisi Baterai Setelah Pengecasan Selama 10 Jam**



Lampiran D. Perhitungan Kendali Logika Fuzzy

Contoh perhitungan dengan nilai referensi yang digunakan adalah 0,72 A, dan diperoleh *output* arus hasil pembacaan sensor sebagai berikut :

$$Error = Setpoint - Present Value$$

$$Error 1 = 0,72 - (-0,80) = 1,52$$

$$Error 2 = 0,72 - 0,85 = -0,13$$

$$Error 3 = 0,72 - 0,20 = 0,52$$

$$Error 4 = 0,72 - 0,23 = 0,49$$

$$Error 5 = 0,72 - 0,72 = 0$$

$$\Delta Error(t) = Error(t) - Error(t-1)$$

$$\Delta Error(t) 1 = 1,52 - 0 = 1,52$$

$$\Delta Error(t) 2 = -0,13 - 1,52 = -1,65$$

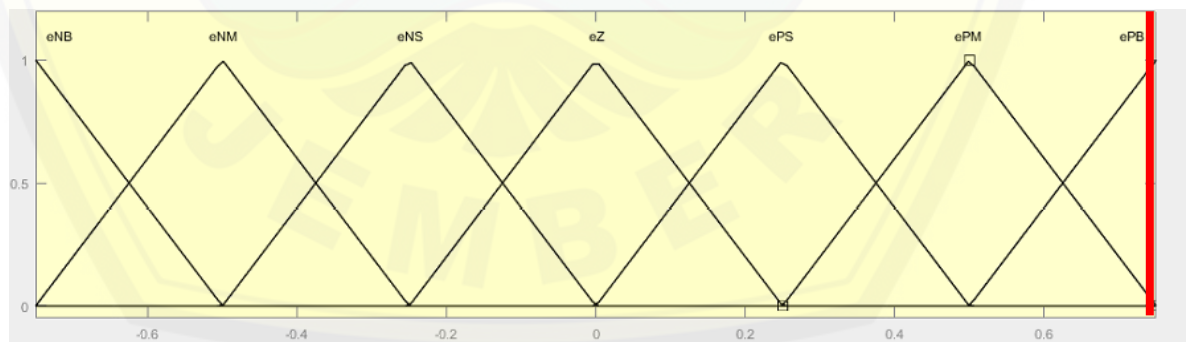
$$\Delta Error(t) 3 = 0,52 - (-1,65) = 2,17$$

$$\Delta Error(t) 4 = 0,49 - 2,17 = -1,68$$

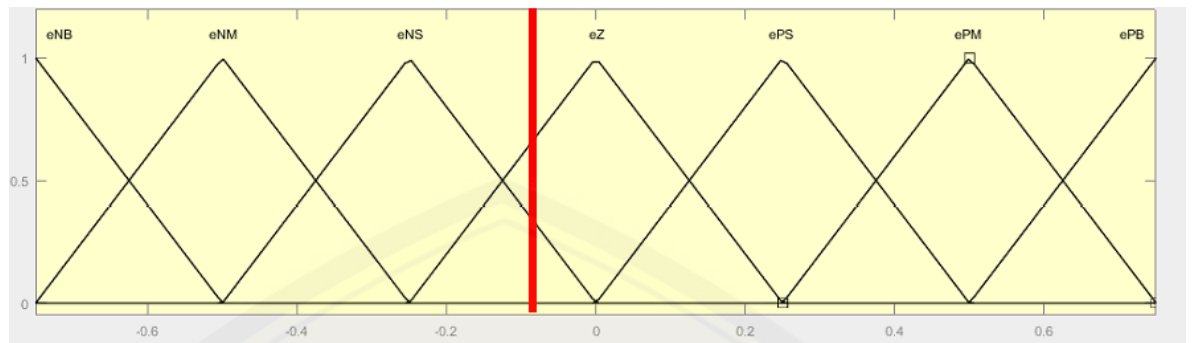
$$\Delta Error(t) 5 = 0 - (-1,68) = 1,68$$

- Proses Fuzzifikasi

Pada tahap fuzzifikasi ialah menghitung derajat keanggotaan *error* arus dan *delta error* arus.

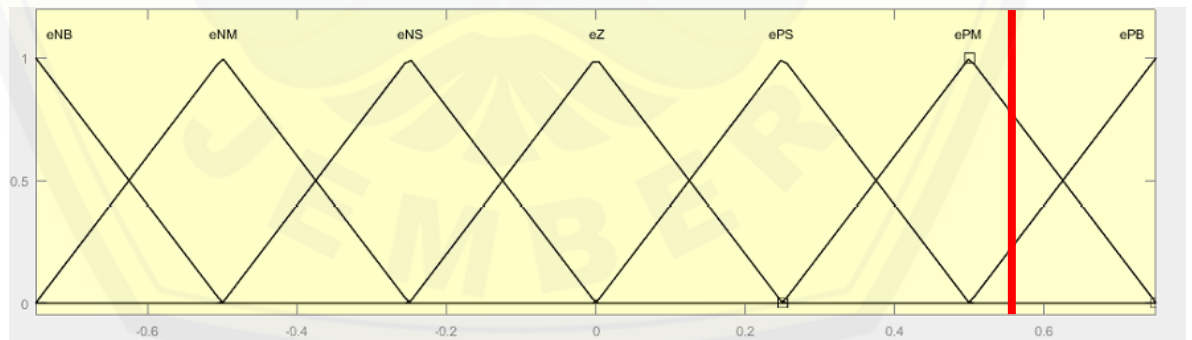


$$Error [1,52] = ePB = Y = 1$$

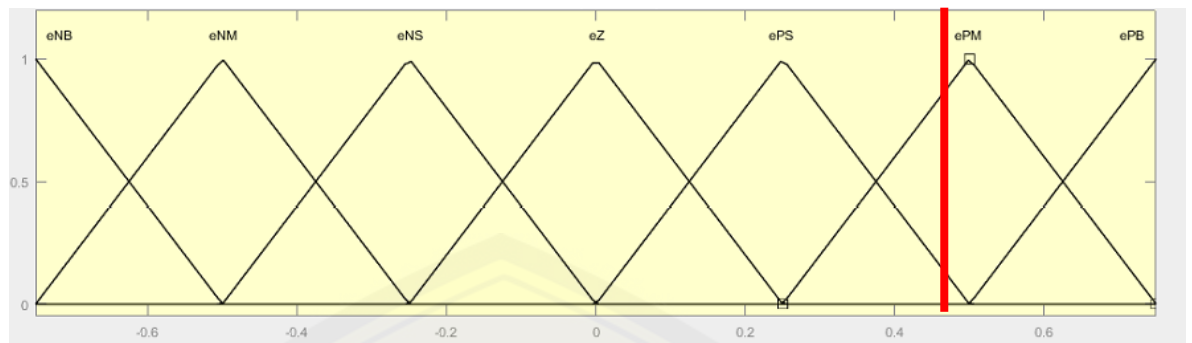


$$\begin{aligned} \text{Error } [-0,13] &= eZ = \frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \\ (0 ; 1) (-0,25 ; 0) & \quad \frac{y-1}{0-1} = \frac{x-0}{-0,25-0} \\ & \quad \frac{y-1}{-1} = \frac{-0,13}{-0,25} \\ & \quad \mathbf{y = 0,52} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} eNS &= \frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \\ (0 ; 1) (-0,25 ; 0) & \quad \frac{y-1}{0-1} = \frac{x-(-0,25)}{0-(-0,25)} \\ & \quad \frac{y-1}{-1} = \frac{-0,13+0,25}{-0,25} \\ & \quad \mathbf{y = 0,48} \end{aligned}$$

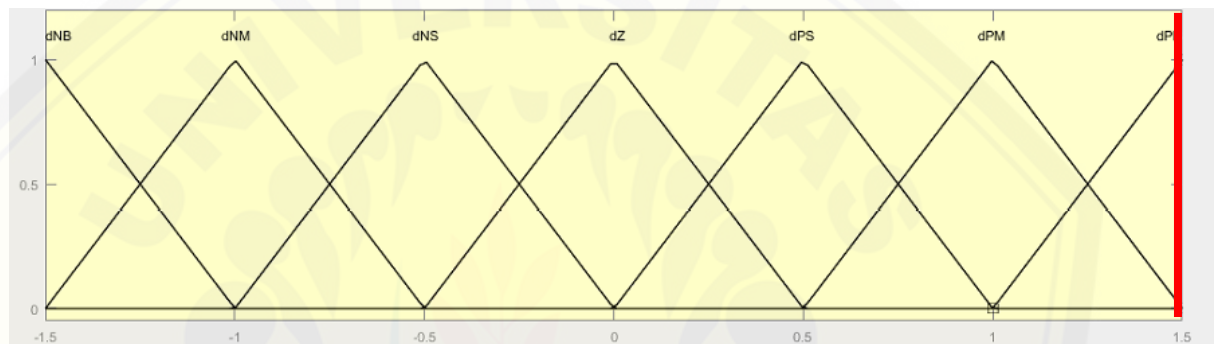


$$\begin{aligned} \text{Error } [0,52] &= ePM = Y = 0,08 \\ ePB &= Y = 0,92 \end{aligned}$$

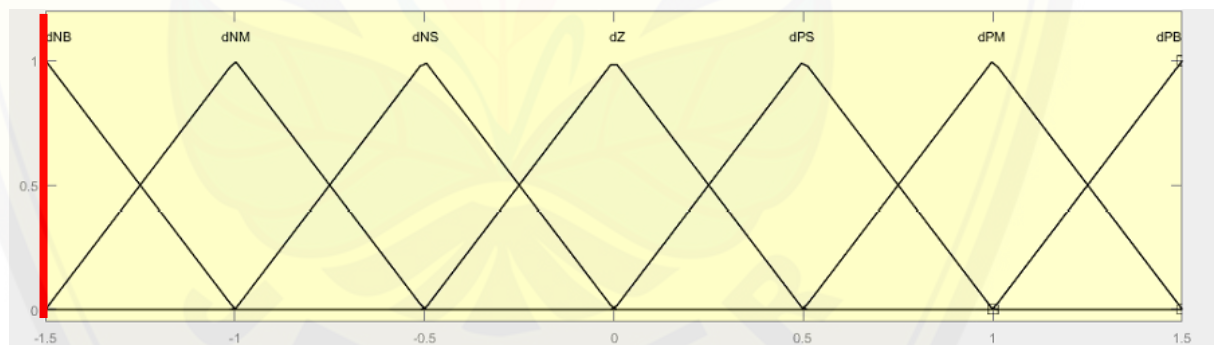


$Error [0,49] = ePS = Y = 0,96$

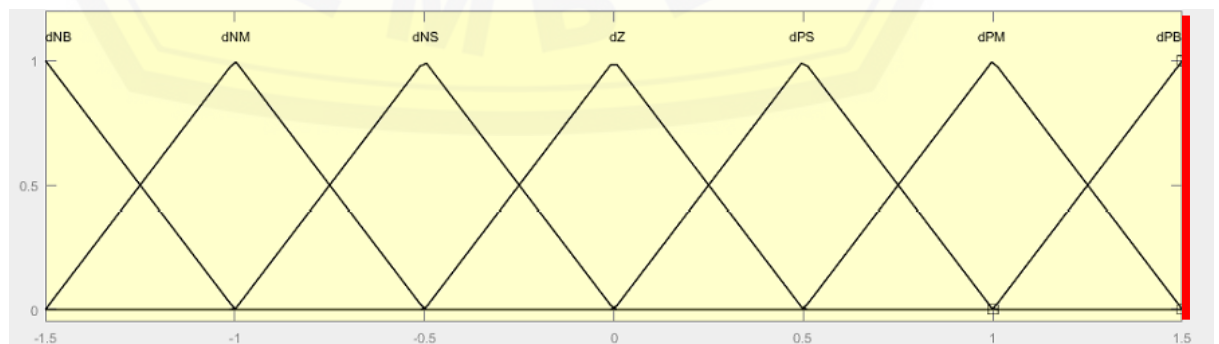
$ePM = Y = 0,04$



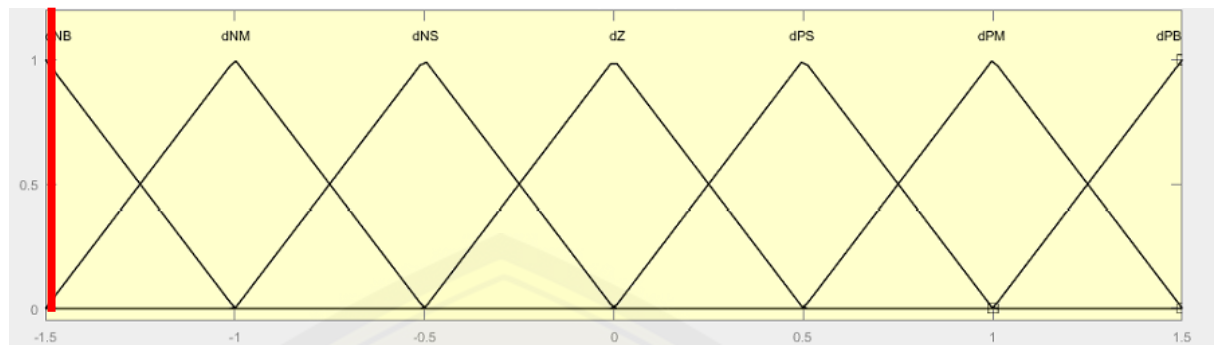
$\Delta Error [1,52] = dPB = Y = 1$



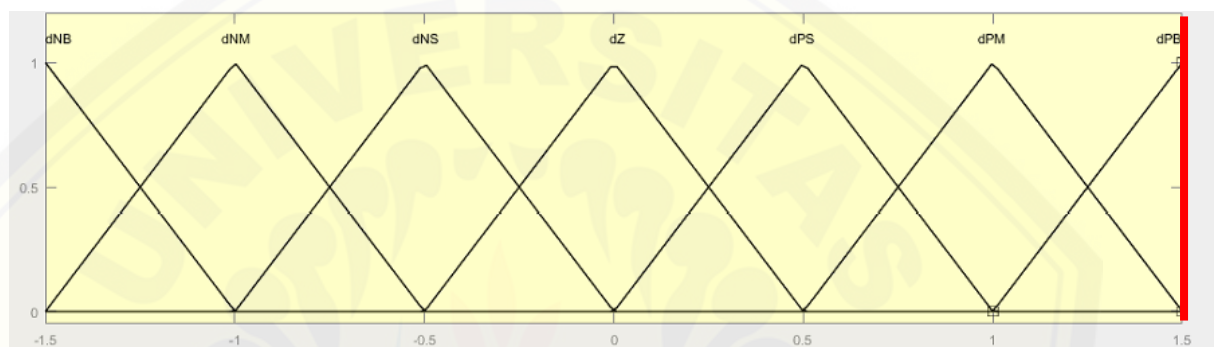
$\Delta Error [-1,65] = dNB = Y = 1$



$\Delta Error [2,17] = dPB = Y = 1$



$$\Delta Error [-1,68] = dNB = Y = 1$$



$$\Delta Error [1,68] = dPB = Y = 1$$

- Penggunaan operator OR dan menghitung derajat keanggotaan dengan mengambil keanggotaan terbesar.

$$E 1 = 1$$

$$DE 1 = 1$$

$$E 2 = 0,52 \cup 0,48 = 0,52$$

$$DE 2 = 1$$

$$E 3 = 0,08 \cup 0,92 = 0,92$$

$$DE 3 = 1$$

$$E 4 = 0,96 \cup 0,04 = 0,96$$

$$DE 4 = 1$$

$$E 5 = 1$$

$$DE 5 = 1$$

- Mencari *delta* arus dari proses defuzzifikasi menggunakan metode COA (*Center Of Area*) dengan permisalan derajat keanggotaan *error* dan *delta error* sebagai berikut :

$$Error : eNB = 0,6$$

$$Delta Error : dNB = 0,45$$

$$eNM = 0,40$$

$$dNM = 0,35$$

$$eNS = 0,3$$

$$dNS = 0,65$$

Diperoleh hasil rule base dengan MAX method

Jika eNB dan dNB maka 0,6

Jika eNB dan dNS maka 0,65

Jika eNB dan dNM maka 0,6

Jika eNM dan dNB maka 0,45

Jika eNM dan dNM maka 0,40

Jika eNM dan dNS maka 0,65

Jika eNS dan dNB maka 0,45

Jika eNS dan dNM maka 0,35

Jika eNS dan dNS maka 0,65

Output:

$$\frac{(0,6 \times 0,5) + (0,65 \times 0,1) + (0,6 \times 0,5) + (0,45 \times 0,5) + (0,40 \times 0,25) + (0,65 \times 0,1) + (0,45 \times 0,5) + (0,35 \times 0,25) + (0,65 \times 0,1)}{0,6 + 0,65 + 0,6 + 0,45 + 0,40 + 0,65 + 0,45 + 0,35 + 0,65}$$

$$= 0,298$$

- Menghitung arus baru

$$\text{Arus (t)} = \text{Arus (t-1)} + \text{Delta Arus}$$

$$= 0,49 + 0,298$$

$$= 0,788 \text{ A}$$

AUTOBIOGRAFI



Agam Patria Alam

Lahir di Surabaya, 25 Januari 1996 dari orang tua Wadina dan Fatimahanum Rambe sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan dimulai dari SDN Lidah Kulon Surabaya, melanjutkan ke SMP Hang Tuah 2 Surabaya dan SMA Wachid Hasyim 2 Taman Sidoarjo, kemudian menempuh Diploma 1 AK PJB di PENS dan melanjutkan Sarjana Strata 1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Penulis juga aktif di unit kegiatan mahasiswa serta menjadi ketua orientasi mahasiswa di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember dan penulis aktif di organisasi diluar kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Surabaya di Jember. Penulis juga pernah mengikuti beberapa pelatihan antara lain pelatihan PLC yang diadakan oleh BNSP dan pelatihan yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Elektro seperti pelatihan desain instalasi listrik, Arduino, *robot line followers*, dan kontaktor.