

***SYNCHRONOUS SEPIC SEBAGAI PENGISIAN BATERAI LI-ION
MENGUNAKAN PENGENDALI FUZZY LOGIC***

(Skripsi)

Oleh:

**ALEX SANDRO JUPPA TUA NAINGGOLAN
2155031001**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

***SYNCHRONOUS SEPIC* SEBAGAI PENGISIAN BATERAI *LI-ION*
MENGUNAKAN PENGENDALI *FUZZY LOGIC***

Oleh

ALEX SANDRO JUPPA TUA NAINGGOLAN

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

SYNCHRONOUS* SEPIC SEBAGAI PENGISIAN BATERAI *LI-ION* MENGUNAKAN PENGENDALI *FUZZY LOGIC

Oleh

ALEX SANDRO JUPPA TUA NAINGGOLAN

Ketidakstabilan tegangan *output* akibat fluktuasi tegangan *input* menjadi salah satu permasalahan utama pada sistem *converter* DC-DC, khususnya dalam aplikasi pengisian baterai. Metode pengendalian konvensional kerap kali belum mampu merespons perubahan kondisi secara cepat dan akurat. Oleh karena itu, penelitian ini merancang dan merealisasikan sistem pengisian baterai Li-Ion menggunakan *Synchronous* SEPIC berbasis pengendali *Fuzzy Logic*, yang mampu menaikkan maupun menurunkan tegangan tanpa membalik polaritas. *Fuzzy Logic* diterapkan untuk mengatur *duty cycle* berdasarkan nilai *error* dan delta *error* antara tegangan *set point* dan tegangan *output* aktual. Pengujian dilakukan dengan variasi tegangan *input* 10V dan 20V, sementara *set point* ditetapkan sebesar 13V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan tegangan *output* dengan rise time 2,75–2,76 detik, *overshoot* di bawah 0,6%, dan *settling time* kurang dari 4 detik, baik pada kenaikan atau penurunan tegangan. Hasil ini membuktikan bahwa penerapan *Synchronous* SEPIC dengan kendali *Fuzzy Logic* efektif meningkatkan kestabilan pengisian baterai *Li-Ion* serta memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam sistem berbasis energi terbarukan.

Kata kunci: SEPIC Converter, *Fuzzy Logic*, Pengisian Baterai Li-Ion, *Synchronous*, *Duty cycle*

ABSTRACT

DESIGN OF A SYNCHRONOUS SEPIC FOR LI-ION BATTERY CHARGING WITH *FUZZY LOGIC* CONTROL

By:

ALEX SANDRO JUPPA TUA NAINGGOLAN

Output voltage instability caused by *input* voltage fluctuations is one of the main challenges in DC-DC converter systems, especially in battery charging applications. Conventional control methods often fail to respond quickly and accurately to such dynamic conditions. To address this issue, this study designs and implements a Li-Ion battery charging system using a Synchronous SEPIC Converter controlled by *Fuzzy Logic*, which can increase or decrease the voltage without inverting its polarity. *Fuzzy Logic* is applied to adjust the *duty cycle* based on the error and delta error values between the set point voltage and the actual *output* voltage. The system was tested under *input* voltage variations of 10V and 20V, with a constant set point of 13V. The test results indicate that the system successfully maintains a stable *output* voltage with a rise time of 2.75–2.76 seconds, overshoot below 0.6%, and a settling time of less than 4 seconds, operating effectively in both boost and buck modes. These findings demonstrate that implementing a Synchronous SEPIC Converter with *Fuzzy Logic* control effectively enhances the stability of Li-Ion battery charging systems and offers potential for further development in renewable energy-based applications.

Keywords: SEPIC Converter, *Fuzzy Logic*, Li-Ion Battery Charging, Synchronous, *Duty cycle*

Judul Skripsi : *Synchronous* SEPIC Sebagai Pengisian Baterai
Li-Ion Menggunakan Pengendali *Fuzzy Logic*.

Nama Mahasiswa : Alex Sandro Juppa Tua Nainggolan

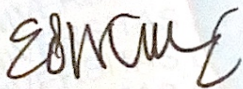
Nomor Pokok Mahasiswa : 2155031001

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

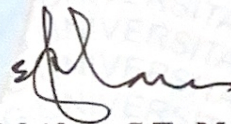
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr.Eng. Endah Komalasari, S.T.,M.T.

NIP. 19730215 199903 2 003



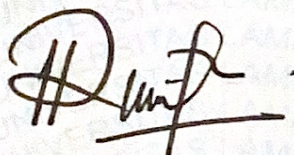
Syaiful Alam, S.T., M.T.

NIP. 19690416 199803 1 004

2. Mengetahui

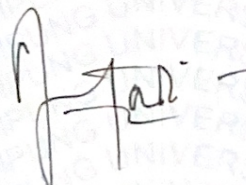
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.

NIP. 19710314 199903 1001



Sumadi, S.T., M.T.

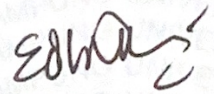
NIP. 19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

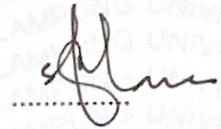
Ketua

: Dr.Eng. Endah Komalasari, S.T.,M.T



Sekretaris

: Syaiful Alam, S.T., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.

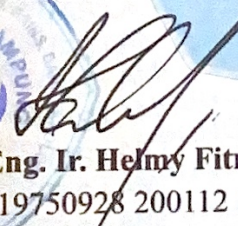


2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 1 Juli 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Juni 2025



Alex Sandro Juppa Tua Nainggolan
NPM. 2155031001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Jambi pada tanggal 24 Maret 2003, sebagai anak ke-1 dari 4 bersaudara, dari pasangan Bapak Jadiano Nainggolan dan Ibu Tiarmaida Sidauruk

Riwayat Pendidikan penulis dimulai dari SDN 64 Kota Jambi pada tahun 2009 hingga 2015. SMPN 11 Kota Jambi pada tahun 2015 hingga 2018. Kemudian SMAN 8 Kota Jambi pada 2018 hingga 2021.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur SMMPTN (Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri Wilayah Barat). Selama menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik dari tahun 2023 dan berkesempatan menjadi asisten Praktikum Dasar Tenaga Listrik, Mesin – Mesin Listrik dan Elektronika Daya pada Tahun 2024. Selain itu, penulis juga tergabung dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Pendidikan dan Pengembangan Diri pada tahun 2022 hingga tahun 2023. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. LDC Indonesia, Lampung dalam Satuan Kerja Maintenance dan melakukan studi kasus berjudul “ANALISIS PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK PADA MOTOR CWS 01 *COOLING TOWER* DENGAN MENGGUNAKAN *VARIABLE SPEED DRIVE* (VSD) DI PT LOUIS DREYFUS COMPANY (LDC) INDONESIA”

PERSEMBAHAN

Skripsi ini, ku persembahkan untuk:

**“Tuhan Yesus Kristus yang telah memberi Rahmat,
pertolongan dan anugerah-Nya hingga skripsi ini dapat
terselesaikan”**

**“Kedua Orang Tuaku, Ayahanda Jadiano Nainggolan dan
Ibunda Tiarmada Sidauruk yang selalu mendukung dan
percaya akan proses perkuliahan yang kulalui, ini semua
untuk Bapak dan Mamak tercinta”**

**“Keluarga yang sudah kuanggap seperti orang tua ku
sendiri yakni Bapak Yona dan Matua Yona yang selalu
mendukung dan percaya akan proses perkuliahan yang
kulalui selama aku di bandar lampung”**

**“Adik-adikku tersayang Boy Fransiskus Nainggolan, Roy
Fransiskus Nainggolan Dan Jhon Alberto Nainggolan”**

Serta

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater”

MOTTO

“janganlah takut, sebab Aku menyertai engkau, janganlah bimbang, sebab Aku ini Allahmu; Aku akan meneguhkan, bahkan akan menolong engkau; Aku akan memegang engkau dengan tangan kanan-Ku yang membawa kemenangan”

Yesaya 41:10

“Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku”

Filipi 4:13

“Mille viae ducunt homines per saecula Romam”

“Tak ada kata gagal, perjalanan hidup yang melalui kegagalan tak luput dari hari keberuntungan yang sedang dipersiapkan”

Alex Sandro Juppa Tua Nainggolan

SANWACANA

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, atas berkat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*SYNCHRONOUS SEPIC CONVERTER* SEBAGAI PENGISIAN BATERAI *LI-ION* MENGGUNAKAN PENGENDALI *FUZZY LOGIC*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Keluarga penulis, Bapak, Mamak, Adek Boy, Adek Roy, Adek Jhon, serta keluarga besar Nainggolan dan Sidauruk yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan kepada penulis selama menempuh pendidikan.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. IPM., ASEAN.Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Herlinawati, S.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
6. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang selalu memberikan bimbingan, arahan, motivasi, dan pandangan hidup dengan penuh kesabaran.
7. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan saran, bimbingan dan arahan dengan baik dan ramah.

8. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, kritik dan arahan.
9. Bapak Aryanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, bimbingan dengan baik dan tulus kepada penulis selama perkuliahan.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.
11. Staf administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
12. Keluarga RAMBAON, Jamed, Benyamin, Daniel, Rizman, Lae Edo yang selalu menemani hari-hari penulis. Ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada sahabat seperjuangan sesama perantauan, yang telah menjadi tempat berbagi suka dan duka selama masa perkuliahan. Adanya kalian membuat warna-warna hidup lebih cerah, canda dan tawa selalu menemani di setiap hari.
13. Segenap teman-teman Workshop orang sukses. Jefri, Luki, Daniel, Benyamin, Marhadi, Dona, Ananda, Bimo, Deni, Ruli, Siti. Serta seluruh asisten Lab KEE yang menjadi teman baik. Terima kasih atas ilmu, bantuan, dan kerja samanya selama penulis menjadi asisten laboratorium.
14. Asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik angkatan 2022 yang sudah menjadi teman baik selama menjadi asisten laboratorium.
15. Teman seperjuangan seperbimbingan, Jaya, Benyamin dan Daniel yang sudah saling support dalam pembuatan tugas akhir ini.
16. Keluarga besar Angkatan EXCALTO 2021, yang telah memberikan banyak motivasi, nilai-nilai sosial dan bantuan dalam berbagai hal.
17. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penuliKeluarga besar Komunitas Mahasiswa Katolik Fakultas Teknik UNILA, yang telah menjadi rumah rohani dan tempat pertumbuhan iman saya selama masa perkuliahan.
18. Keluarga besar hasibuan nantulang op veva yang sudah memberi dukungan sejauh ini.

19. LDC Indonesia yang sudah memberikan saya pengalaman yang berharga selama saya Kerja Praktik.
20. Tak lupa, saya ingin mengucapkan terima kasih yang terdalam kepada diri saya sendiri. Terima kasih masih bertahan sampai sejauh ini, banyak rintangan yang dihadapi, drama-drama hidup yang di lalui, semua tak luput dari kemauan dan dorongan dari hati kecil.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 30 Juni 2025

Alex Sandro Juppa Tua Nainggoalan

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesis.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Baterai	6
2.1.1. Baterai litium ion.....	8
2.2 SEPIC	9
2.2.1. <i>Synchronous</i> SEPIC	12
2.3 <i>Fuzzy Logic</i>	14
2.3.1. Himpunan <i>Fuzzy</i>	15
2.3.2. Fungsi Keanggotaan.....	15
2.3.3. Tahapan dalam <i>Fuzzy</i>	17
2.3.4. <i>Fuzzyfikasi</i>	17
2.3.5. Logika Pengambilan Keputusan.....	18
2.3.6. <i>Defuzzifikasi</i>	18
III. METODE PENELITIAN	19
3.1. Waktu dan Tempat.....	19
3.2. Alat dan Bahan	19
3.2.1. Perangkat Keras.....	19
3.2.2. Perangkat lunak	20
3.3. Metode penelitian	20
3.3.1. Diagram Alir Penelitian.....	20
3.3.2. Diagram alir sistem	21
3.3.3. Perancangan Alat dan Sistem	22

3.3.4. Perancangan <i>Fuzzy Logic</i>	27
3.3.5. Pengujian Sistem	31
IV. PEMBAHASAN	33
4.1. Simulasi <i>Synchronous</i> SEPIC dan SEPIC	33
4.2. Hasil Perancangan	39
4.2.1. Hasil Perancangan <i>Synchronous</i> SEPIC.....	39
4.2.2. Hasil Perancangan <i>Gate Driver</i>	40
4.2.3. Hasil Perancangan Baterai <i>Li-Ion</i>	41
4.2.4. Hasil Perancangan PWM	42
4.2.5. Hasil Perancangan sensor tegangan	44
4.3. Hasil Pengujian Perancangan	45
4.4. Pengujian tegangan maksimum baterai	51
V. KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1. Kesimpulan.....	54
5.2. Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	56
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses <i>Charge/Discharge</i> Baterai	6
Gambar 2.3 Baterai <i>Li-Ion</i>	8
Gambar 2.4 SEPIC	10
Gambar 2.5 Sinyal <i>Switching</i> MOSFET <i>SEPIC converter</i>	11
Gambar 2.6 Saat MOSFET <i>On</i>	11
Gambar 2.7 Saat MOSFET <i>Off</i>	12
Gambar 2.8 <i>Synchronous</i> SEPIC	13
Gambar 2.9 PWM pada <i>synchronous</i> SEPIC	13
Gambar 2.10 Tahapan Dalam <i>Fuzzy</i>	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem.....	21
Gambar 3.3 <i>Synchronous</i> SEPIC	24
Gambar 3.4 <i>Gate Driver</i> TLP250	25
Gambar 3.5 Baterai <i>Li-Ion</i> Dilengkapi BMS	26
Gambar 3.6 Perancangan Sistem Kedali <i>Fuzzy Logic</i>	28
Gambar 3.7 <i>Membership Function Input Fuzzy Logic</i>	29
Gambar 3.8 <i>Membership Function Output Fuzzy Logic</i>	29
Gambar 4.1 Rangkaian Simulasi Penelitian.....	34
Gambar 4.2 Hasil Simulasi Rangkaian Tanpa Pengendali	36
Gambar 4.3 Hasil Simulasi Rangkaian Dengan Pengendali <i>Fuzzy Logic</i>	38
Gambar 4. 4 <i>Synchronous</i> SEPIC	40
Gambar 4.5 <i>Gate Driver</i> TLP250	41
Gambar 4.6 Baterai <i>Li-Ion</i> 12V	41
Gambar 4.7 PWM yang dihasilkan pada saat V_{in} 10V dan 20V	42
Gambar 4.8 PWM dengan <i>dead time</i>	43

Gambar 4.9 Realisasi perancangan sensor pembagi tegangan.....	44
Gambar 4. 10 Respon Tegangan Terhadap <i>Set point</i>	46
Gambar 4. 11 Kinerja <i>Synchronous</i> SEPIC.....	47
Gambar 4. 12 Kondisi Tegangan Terminal Baterai	49
Gambar 4. 13 Arus Pengisian Pada Dua <i>Input</i> Yang Berbeda	50
Gambar 4.14 Pengujian Pengisian Baterai Bencapai Maksimum.....	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 SoC baterai Li Ion	9
Tabel 3.1 Parameter <i>Synchronous</i> SEPIC	25
Tabel 3.2 Spesifikasi baterai	26
Tabel 3.3 <i>Input Error Fuzzy Logic</i>	30
Tabel 3.4 <i>Input delta Error Fuzzy Logic</i>	30
Tabel 3.5 <i>Output PWM Fuzzy Logic</i>	30
Tabel 3.6 <i>Rule base system Fuzzy Logic</i>	31

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konverter DC-DC adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah tingkat tegangan arus searah (DC) dari satu nilai ke nilai lainnya, baik dengan menaikkan (*boost*) maupun menurunkan (*buck*) tegangan. Perangkat ini banyak digunakan pada bidang seperti dalam telekomunikasi, sistem otomotif, dan sistem energi terbarukan. Di bidang telekomunikasi, konverter DC-DC digunakan dalam perangkat ponsel dan router agar dapat menyesuaikan tegangan sesuai dengan kebutuhan. Di sektor otomotif, konverter ini diterapkan pada kendaraan listrik untuk mengatur tegangan baterai agar sesuai dengan kebutuhan motor listrik [1]. Salah satu tantangan utama dalam penggunaan konverter DC-DC adalah pengaturan dan pengendalian tegangan *output* yang stabil dan efisien, terutama ketika kondisi *input* yang diterima bersifat variatif. Penggunaan teknik kontrol tradisional sering kali tidak dapat mengatasi perubahan dinamis pada kondisi operasi konverter secara optimal.

Ada berbagai kategori konverter DC-DC diantaranya, *boost converter*, *buck converter* dan *buck-boost converter*. *Buck-boost converter* jenis converter yang banyak digunakan karena bekerja sebagai penaik atau penurun tegangan. *Buckboost converter* memiliki kelemahan pada polaritas dan riak tegangan *output* [2]. SEPIC merupakan konverter yang bekerja sebagai penaik atau penurun tegangan seperti *Buck-boost converter* akan tetapi memiliki keunggulan pada polaritas yang tidak terbalik dari polaritas *input*, memiliki riak tegangan *output* yang lebih rendah dan memiliki pengamanan rangkaian melalui kapasitor apabila *switch* tidak bekerja [4].

Fuzzy Logic, sebagai metode kontrol yang dapat menangani ketidakpastian dan kompleksitas dalam sistem yang tidak linier[2]. Dengan mengimplementasikan *Fuzzy Logic* pada converter DC-DC, diharapkan dapat tercapai pengaturan tegangan yang lebih responsif terhadap fluktuasi *input*, serta meningkatkan efisiensi konversi energi. *Fuzzy Logic* dapat memproses *input* yang bersifat linguistik atau tidak tepat, seperti level tegangan *input* dan *output*, untuk menghasilkan sinyal kontrol yang sesuai dengan kebutuhan sistem[3]. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan *Fuzzy Logic* dalam pengendalian konverter DC- DC, khususnya pada jenis converter seperti SEPIC (*Single Ended Primary Inductor Converter*), untuk meningkatkan kinerja sistem dalam pengisian baterai dan aplikasi energi terbarukan.

Pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh Riska Fibrianti (2020) dengan judul “Rancang Bangun SEPIC (*Single-Ended Primary Inductance Converter*) untuk Aplikasi MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) Jenis *Constant Voltage*(CV)” [3]. Penelitian ini membahas perancangan SEPIC yang berfungsi untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan *output* agar tetap stabil pada 14 Volt dengan frekuensi switching sebesar 31 kHz. Alat ini dirancang untuk menstabilkan tegangan DC *output* sesuai dengan tegangan *set point* yang diinginkan, meskipun tegangan masukan bervariasi, dengan mengatur nilai PWM menggunakan Arduino yang dikendalikan oleh transistor MOSFET. Pengujian dilakukan dengan tegangan masukan sebesar 12 Volt dan 15 Volt, menghasilkan tegangan *output* yang mendekati atau sesuai dengan *set point*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan *output* SEPIC Converter dipengaruhi oleh *duty cycle*.

Penelitian Tewodros Gera Workineh, Biniyam Zemene Taye, Abraham Hizikiel Nebey and Elias Mandefro Getie yang berjudul “*PI-like Fuzzy based synchronous SEPIC converter control for PV-fed small scale irrigation DC pump*” [4]. Dijelaskan bahwa *Synchronous* SEPIC menawarkan efisiensi tinggi akibat *Voltage drop* yang disebabkan oleh dioda ,Hal ini sangat penting untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya digunakan secara optimal untuk mengoperasikan pompa DC. Selain itu, konverter ini mampu mengurangi riak (*ripple*) pada tegangan dan arus, yang berkontribusi pada stabilitas dan keandalan

sistem, sehingga pompa dapat beroperasi dengan lebih baik tanpa fluktuasi daya yang merugikan. Sistem menunjukkan performa tegangan *output* yang lebih stabil, dengan kecepatan 141,4 rpm, laju aliran 1,56 l/s, dan kesalahan tegangan 1,4 V, menjadikannya lebih efektif.

Berdasarkan pemaparan diatas, penelitian ini mengangkat ide penelitian melakukan merancang *Synchronous* SEPIC dengan menggunakan *Fuzzy Logic Control* yang dapat menoptimalkan penyerapan energi pada sistem pengisian baterai. Penggunaan *Fuzzy Logic Control* dibutuhkan untuk mengatur nilai *duty cycle* pada *Synchronous* SEPIC untuk mengatur tegangan *output*. Penelitian yang diangkat berjudul “*Synchronous* SEPIC sebagai Pengisian Baterai *Li-Ion* Menggunakan pengendali *Fuzzy Logic*”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan *synchronous* SEPIC yang mampu mengatur tegangan untuk pengisian baterai *Li-Ion*?
2. Bagaimana metode *Fuzzy Logic* dapat digunakan untuk mengoptimalkan pengendalian *duty cycle* pada *Synchronous* SEPIC agar menghasilkan pengisian yang optimal pada baterai *Li-Ion*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang dikemukakan tujuan dari penelitian adalah:

1. Merancang *Synchronous* SEPIC dengan pengendali *Fuzzy Logic* yang dapat menjaga stabilitas tegangan untuk pengisian baterai *Li-Ion* terhadap variasi tegangan *input*.

2. Menerapkan metode *Fuzzy Logic* sebagai pengendali dan menganalisis respon sistem dalam mencapai tegangan *set point* pada proses pengisian baterai *Li-Ion*.

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari hasil penelitian ini, dapat memberikan macam-macam manfaat sebagai pencapaian, yaitu:

1. Hasil penelitian ini dapat diaplikasikan pada berbagai sistem yang membutuhkan pengisian baterai dengan kontrol yang presisi, seperti kendaraan listrik, perangkat portabel, dan sistem penyimpanan energi terbarukan.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya wawasan ilmiah dalam pengembangan teknologi konverter daya, khususnya SEPIC dengan penerapan metode *Fuzzy Logic* dalam pengisian baterai *Li-Ion*.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini akan membatasi cakupannya pada beberapa hal berikut:

1. *Synchronous* SEPIC yang digunakan memiliki kapasitas 50W.
2. Sistem kendali yang digunakan sebagai umpan balik pada penelitian ini adalah *Fuzzy Logic*.
3. *Synchronous* SEPIC hanya untuk pengisian baterai *Li-Ion*.
4. *Microcontroller* yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.
5. Baterai *Li-Ion* adalah beban yang digunakan, tidak membahas lebih detail mengenai Baterai *Li-Ion*.

1.6 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah penggunaan metode *Fuzzy Logic* pada *Synchronous* SEPIC dapat meningkatkan performa pengisian baterai *Li-Ion*

dibandingkan metode konvensional dengan memanfaatkan daya *output* secara optimal.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, mafaat penelitian, hipotesis dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan secara umum teori dasar yang digunakan sebagai landasan pada penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan waktu dan tempat dilaksanakan penelitian, diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan dan diagram langkah langkah dalam penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil perancangan dan analisis hasil pengujian alat.

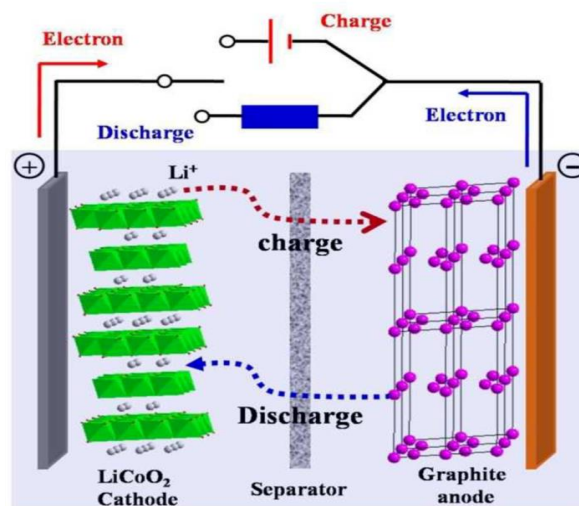
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang penelitian yang telah dilaksanakan dan saran untuk refrensi penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai

Baterai atau akumulator adalah perangkat sel listrik yang memungkinkan terjadinya proses elektrokimia secara *reversibel* atau dapat berbalik arah dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Proses elektrokimia *reversibel* ini memungkinkan baterai untuk mengubah energi kimia menjadi energi listrik saat digunakan dan sebaliknya, mengubah energi listrik menjadi energi kimia saat diisi ulang [5]. Hal ini dilakukan melalui proses regenerasi elektroda dengan mengalirkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel. Listrik dihasilkan oleh baterai melalui reaksi kimia yang berlangsung di dalamnya.



Gambar 2.1 Proses *Charge/Discharge* Baterai

Baterai terbagi menjadi dua jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer hanya dapat digunakan satu kali karena tidak memiliki kemampuan untuk

diisi ulang, sedangkan baterai sekunder dapat digunakan berulang kali karena bisa diisi ulang. Hal ini dimungkinkan oleh sifat reaksi elektrokimia baterai sekunder yang *reversibel*, sehingga dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik saat digunakan atau *discharging* dan mengubah energi listrik kembali menjadi energi kimia saat diisi ulang atau *charging* [6].

Adapun parameter yang perlu diperhatikan pada baterai adalah sebagai berikut[5]:

1. Tegangan Nominal

Tegangan nominal baterai (V_{nom}) dalam satuan Volt adalah tegangan *open circuit* ketika baterai berada dalam kondisi penuh atau *full charge*. Nilai tegangan ini dipengaruhi oleh jumlah sel yang terdapat pada baterai serta tegangan per sel. Saat baterai mulai digunakan atau mengalami proses *discharge*, tegangan tersebut akan berkurang.

2. *Depth of Discharge* (%) dan *State of Charge*

Depth of Discharge (DOD) menunjukkan persentase energi yang telah dikeluarkan dari baterai. SOC merepresentasikan kapasitas baterai yang tersisa, juga dalam bentuk persentase. Ketika SoC mencapai 100%, baterai dianggap sepenuhnya terisi, sedangkan SoC 0% menunjukkan bahwa baterai telah habis. Baik DOD maupun *State of Charge* (SoC) dinyatakan dalam bentuk persentase (%).

3. *Maximum Capacity* (Ah)

Kapasitas maksimum baterai adalah total energi tertinggi yang dapat dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas maksimum ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1

$$Q = \frac{105}{100} \times Q_{rate} \quad (2.1)$$

Dimana:

Q = *Maximum capacity* (Ah)

Q_{rate} = *Rated capacity* (Ah)

2.1.1. Baterai litium ion

Baterai lithium-ion, yang sering disebut *Li-Ion*, merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang [5]. Keunggulan ini tercapai dengan mengganti logam litium dengan grafit, yang meningkatkan kinerja baterai tersebut, sehingga memungkinkan untuk pengisian ulang. Selain itu, baterai *Li-Ion* dianggap ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan berbahaya [6].



Gambar 2.2 Baterai *Li-Ion*

Baterai *Li-ion* menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan baterai sekunder lainnya, seperti stabilitas penyimpanan energi yang tahan lama hingga lebih dari 10 tahun, kepadatan energi yang tinggi, serta bobot yang lebih ringan. Dengan bobot yang setara, baterai *Li-ion* dapat menghasilkan dua kali lipat energi dibandingkan baterai lainnya.

State of Charge (SoC) merupakan parameter yang menunjukkan seberapa besar kapasitas energi yang masih tersedia di dalam baterai jika dibandingkan dengan kapasitas penuhnya, biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase (%) [7]. Nilai SoC memberikan gambaran langsung mengenai kondisi daya yang tersimpan di dalam baterai, di mana SoC sebesar 100% menunjukkan baterai dalam kondisi penuh, sedangkan SoC 0% berarti baterai telah habis dayanya.

Pada jenis baterai lithium-ion, nilai SoC memiliki keterkaitan erat dengan tegangan terminal baterai. Ketika proses pengisian berlangsung, nilai tegangan akan mengalami kenaikan, dan saat baterai digunakan (*discharge*), tegangan akan berangsur menurun. Meskipun demikian, hubungan antara tegangan dan SoC tidak

bersifat linear, artinya perubahan tegangan tidak selalu berbanding lurus dengan perubahan kapasitas energi yang tersisa[8]. Oleh sebab itu, untuk menentukan nilai SoC berdasarkan tegangan terminal, diperlukan acuan berupa kurva atau tabel karakteristik khusus.

Agar proses estimasi SoC lebih mudah, hubungan antara tegangan total baterai dan nilai SoC biasanya disajikan dalam bentuk tabel. Berikut disajikan tabel hubungan antara tegangan total baterai lithium-ion konfigurasi 3S (tiga sel seri) dengan nilai SoC[8].

Tabel 2.1 SoC baterai Li Ion

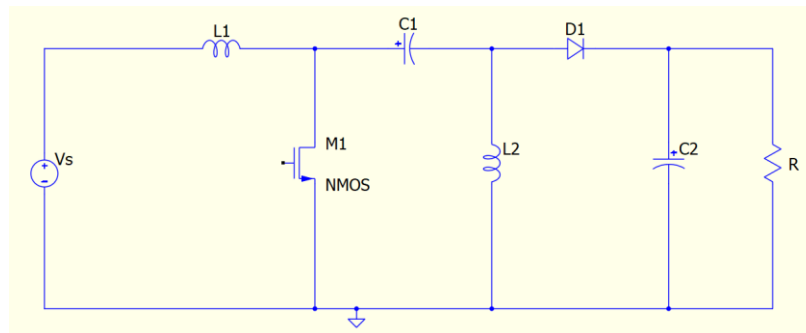
Tegangan Total (V)	Tegangan per Cell (V)	State of Charge (SoC) (%)
12.6	4.2	100
12.30	4.10	90
12.00	4.00	85
11.70	3.90	75
11.40	3.80	60
11.10	3.70	50
10.80	3.60	35
10.50	3.50	20
9.90	3.30	5
9.00	3.00	0

2.2 SEPIC

SEPIC adalah jenis konverter DC-DC yang dapat berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan, mirip dengan konverter *buck-boost*. Tegangan *output* SEPIC diatur dengan mengganti MOSFET sesuai dengan siklus kerja yang diinginkan [3]. Jika siklus kerja di bawah 50%, konverter beroperasi untuk menurunkan tegangan, sementara jika lebih dari 50%, konverter berfungsi untuk menaikkan tegangan atau dapat dilihat dari persamaan 2.2

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{D}{1-D} \quad (2.2)$$

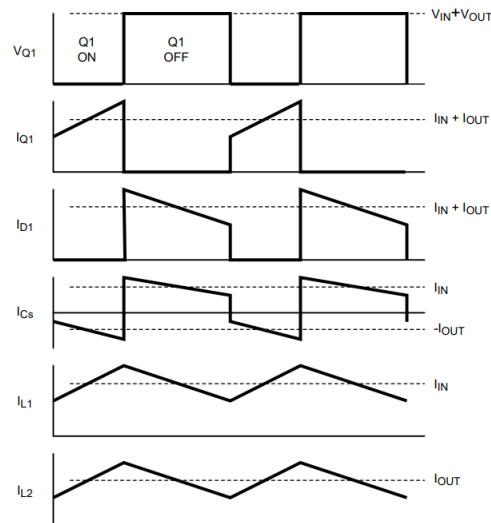
Konverter ini menghasilkan *output non inverting*, yang berarti polaritas tegangan masukan dan *output* adalah sama. Dilengkapi dengan kapasitor *coupling*, konverter ini dapat mengurangi arus riak dan mencegah pemanasan berlebih pada komponen saat beban tinggi [2]. Rangkaian SEPIC dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 SEPIC

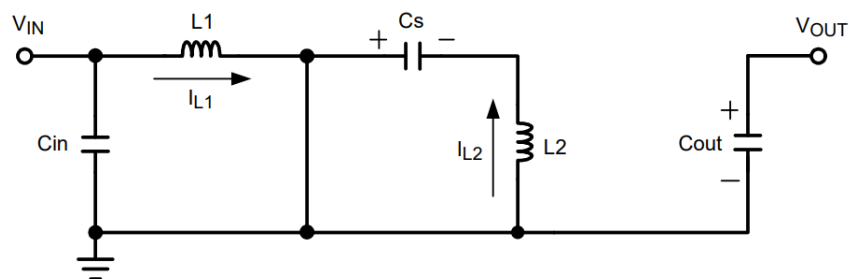
Sebagai konverter DC-DC non-pembalik, SEPIC mampu menghasilkan tegangan *output* yang lebih tinggi atau lebih rendah dibandingkan dengan tegangan masukan. Meskipun arus masukan tidak memiliki ripple, arus *output* tetap ripple. SEPIC adalah singkatan dari *Single-Ended Primary Inductance Converter*.

Konverter SEPIC bekerja mirip dengan *buck-boost*, namun *outputnya non-inverting*, di mana polaritas tegangan *input* dan *output* sama, berbeda dengan *buck-boost* yang *inverting*. SEPIC beroperasi dalam Mode Konduksi Kontinu (CCM), di mana arus induktor tetap mengalir selama siklus persaklaran. Dalam kondisi *steady-state*, tegangan rata-rata di kapasitor Cs (VCs) setara dengan tegangan *input* (V_{in}) [9].



Gambar 2.4 Sinyal *Switching* MOSFET *SEPIC converter*

Konverter ini bekerja dalam dua kondisi. Kondisi pertama ketika Mosfet dalam keadaan *on*. Rangkaian ekivalennya ditunjukkan pada Gambar 2.5 saat MOSFET *on*.

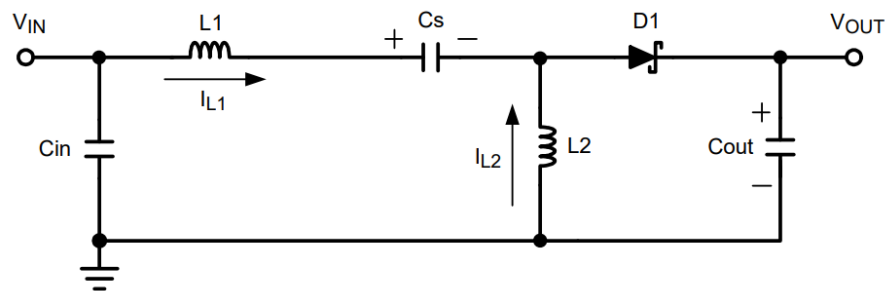


Gambar 2.5 Saat MOSFET *On*

Saat MOSFET dalam keadaan *ON* (tertutup), arus I_{L1} meningkat sementara arus I_{L2} melebihi I_{L1} . Selama MOSFET aktif, tidak ada arus yang mengalir melalui dioda, dan tegangan di dioda bersifat negatif. Ketika MOSFET *OFF*, kapasitor kopling mulai mengisi daya, dan induktor mulai mengeluarkan daya. Begitu kapasitor mulai mengisi daya, arus yang mengalir ke kapasitor berkurang, dan saat daya terdischarge, arus pengisian meningkat [10]. Oleh karena itu, ketika MOSFET aktif, kapasitor kopling akan mengeluarkan daya melalui induktor, dan arus pada kapasitor meningkat tetapi dengan arah berlawanan, sehingga arus menjadi negatif.

Selama fase *OFF*, kapasitor mulai mengisi daya dan arus bergerak maju. Ketika MOSFET mati, $L1$ mulai menurun, dan arus pada kedua induktor mengikuti pola yang sama, dengan proses pengisian dan pengosongan daya yang berkelanjutan.

Kondisi kedua adalah mosfet dalam keadaan *OFF*. Rangkaian ekivalennya ditunjukkan pada Gambar 2.6



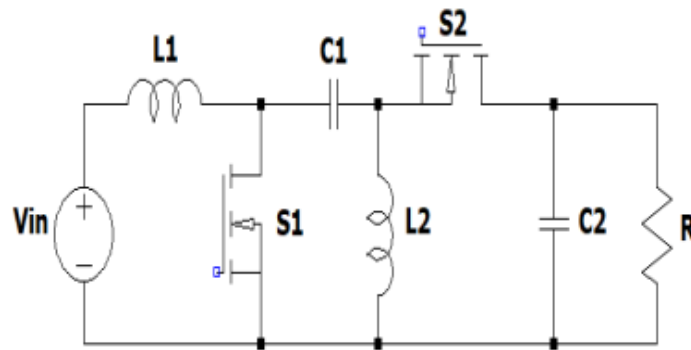
Gambar 2.6 Saat MOSFET *Off*

Saat MOSFET dalam keadaan mati, arus pada kapasitor kopling sama dengan I_{L1} , dan induktor tidak mengubah nilai arusnya. Arus pada $L2$ akan tetap mengalir secara kontinu dalam arah negatif. Dalam diagram, arus I_{L2} yang negatif akan digabungkan dengan arus I_{L1} untuk meningkatkan arus yang diteruskan ke beban. Hal ini sesuai dengan hukum arus Kirchhoff [2], [3], [9], [11].

2.2.1. *Synchronous* SEPIC

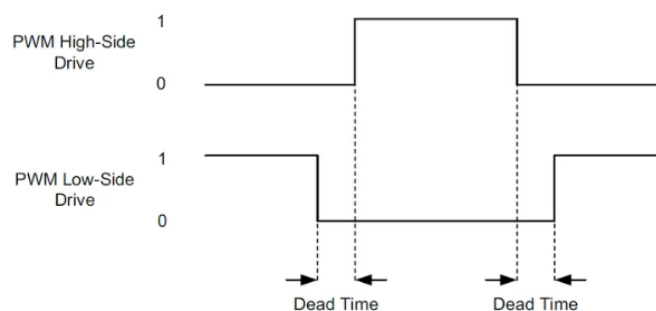
Synchronous SEPIC memungkinkan tegangan *output*nya bisa lebih tinggi, lebih rendah, atau sama dengan tegangan *input*, memberikan fleksibilitas lebih. Selain itu, konverter ini lebih efisien karena mengurangi riak arus dan mengganti dioda dengan saklar yang dikendalikan PWM, yang membantu mencegah mode konduksi diskontinu dan mengurangi tegangan balik pada dioda dan *Voltage drop* pada dioda[12]. Pengendali umpan balik *Fuzzy Logic* digunakan untuk mengatur dalam *synchronous* SEPIC sistem loop tertutup PWM [9]. Salah satu keunggulan dari *Synchronous* SEPIC adalah MOSFET kedua ($S2$) menghasilkan penurunan tegangan yang lebih kecil dibandingkan dengan dioda, sehingga meningkatkan efisiensi sistem. Dioda umumnya memiliki penurunan tegangan sekitar 0,6 V

hingga 0,7 V saat menghantarkan arus, sedangkan MOSFET memiliki penurunan tegangan yang jauh lebih kecil berkat resistansi $R_{DS(on)}$ yang rendah, yaitu sekitar $\pm 50 \text{ m}\Omega$. Hal ini membuat *Synchronous* SEPIC menjadi lebih efisien,[12].



Gambar 2.7 *Synchronous* SEPIC

MOSFET S1 berperan sebagai saklar *High-Side*, sedangkan MOSFET S2 berfungsi sebagai *Low-side* [13]. Ketika MOSFET *High-Side* dalam kondisi '*ON*,' MOSFET *Low-side* harus berada dalam keadaan '*OFF*,' dan begitu pula sebaliknya. Dalam operasinya penting memastikan kedua MOSFET tidak aktif secara bersamaan guna menghindari terjadinya hubungan singkat. Untuk mencegah hal ini, *dead-time* atau jeda diatur selama proses pergantian [4][14]. *Dead time* adalah jeda ketika kedua MOSFET berada dalam kondisi '*OFF*.' Langkah ini memastikan MOSFET S1 benar-benar mati sebelum MOSFET S2 diaktifkan, dan sebaliknya.



Gambar 2.8 PWM pada *synchronous* SEPIC

2.3 *Fuzzy Logic*

Dalam bahasa Inggris, istilah "*Fuzzy*" mengacu pada sesuatu yang kabur atau tidak jelas. Dengan demikian, *Fuzzy Logic* adalah logika yang bersifat kabur atau mengandung ketidakpastian. Dalam logika konvensional, atau yang dikenal sebagai logika tegas, hanya terdapat dua nilai, yaitu salah atau benar, 0 atau 1. Sementara itu, *Fuzzy Logic* memungkinkan adanya nilai yang berada di antara benar dan salah. Ini memberikan kebebasan untuk memiliki nilai keanggotaan antara 0 dan 1, yang mencerminkan tingkat keabuan, serta konsep-konsep seperti hitam dan putih, dan dalam istilah linguistik, melibatkan ketidakpastian seperti "sedikit," "cukup," dan "sangat." Kebenaran dalam *Fuzzy Logic* dapat dinyatakan dalam derajat kebenaran dengan rentang nilai antara 0 hingga 1 [15].

Konsep ketidakpastian modern dimulai dengan makalah yang ditulis oleh Lofti A. Zadeh pada tahun 1965, di mana Zadeh memperkenalkan teori yang berfokus pada himpunan *Fuzzy*, di mana objek dalam himpunan tersebut memiliki batas yang tidak jelas dan keanggotaan dalam himpunan *Fuzzy* tersebut tidak berupa nilai benar atau salah, melainkan diekspresikan dalam derajat tertentu. Konsep ini disebut sebagai fuzziness, dan teorinya dikenal sebagai *Fuzzy Set Theory*. *Fuzziness* sendiri didefinisikan sebagai logika yang berhubungan dengan makna atau semantik dari suatu kejadian, fenomena, atau pernyataan [15] [16]

Sistem *Fuzzy* didasarkan pada konsep himpunan *Fuzzy* yang berfungsi untuk memetakan domain *input* ke dalam domain *output*. Perbedaan utama antara himpunan tegas dan himpunan *Fuzzy* terletak pada nilai *output*-nya. Himpunan tegas hanya memiliki dua nilai *output*, yaitu nol atau satu, sedangkan himpunan *Fuzzy* dapat memiliki berbagai nilai *output*, yang dikenal dengan derajat keanggotaan [17].

Secara dasar, teori himpunan *Fuzzy* adalah pengembangan dari teori himpunan klasik. Dalam teori himpunan klasik (*chrips*), suatu elemen dalam himpunan A hanya dapat memiliki dua kemungkinan status keanggotaan, yaitu menjadi anggota A atau tidak menjadi anggota A.

2.3.1. Himpunan *Fuzzy*

Pada himpunan klasik (*crisp set*), keanggotaan suatu elemen x dalam himpunan A , yang sering dinyatakan sebagai $\mu_A[x]$, hanya memiliki dua kemungkinan [16].

1. Nilai satu (1), yang berarti elemen tersebut merupakan anggota himpunan, atau
2. Nilai nol (0), yang berarti elemen tersebut bukan anggota himpunan.

Kadang-kadang, kesamaan antara keanggotaan *Fuzzy* dan probabilitas bisa menimbulkan kebingungannya. Meskipun keduanya memiliki nilai dalam rentang $[0,1]$, maknanya sangat berbeda [16]. Keanggotaan *Fuzzy* mengukur opini atau keputusan, sementara probabilitas mengindikasikan kemungkinan terjadinya suatu peristiwa dalam jangka panjang.

Himpunan *Fuzzy* memiliki dua atribut:

1. Linguistik, yang mengacu pada pemberian nama pada kelompok yang menggambarkan suatu kondisi atau keadaan tertentu menggunakan bahasa alami.
2. Numerik, yang merujuk pada nilai (angka) yang menggambarkan ukuran suatu variabel, seperti 40, 25, 50, dan sebagainya.

2.3.2. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menghubungkan titik data *input* dengan nilai keanggotaannya (juga dikenal sebagai derajat keanggotaan), yang terletak pada rentang 0 hingga 1 [18]. Salah satu cara untuk menentukan nilai keanggotaan adalah dengan pendekatan berbasis fungsi. Jika U menggambarkan himpunan universal dan A adalah himpunan *Fuzzy* di dalam U , maka A dapat ditulis sebagai pasangan terurut [19]. Berbagai jenis fungsi dapat diterapkan untuk tujuan ini yaitu:

- A. Representasi Linear
- B. Representasi Kurva Segitiga

C. Representasi Kurva Trapesium

D. Representasi Kurva Bahu

E. Representasi Kurva S

F. Representasi Kurva Lonceng

G. Koordinat Keanggotaan

Operator Dasar dalam Operasi Himpunan *Fuzzy*

A. Operator DAN

Diperoleh dengan memilih nilai keanggotaan terkecil antara elemen-elemen pada himpunan yang terlibat.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (2.3)$$

B. Operator ATAU

Diperoleh dengan memilih nilai keanggotaan terbesar antara elemen-elemen pada himpunan yang terlibat.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (2.4)$$

C. Operator BUKAN

Diperoleh dengan mengurangkan nilai keanggotaan suatu elemen dalam himpunan dari angka 1.

$$3. \mu_{A'} = 1 - \mu_A[x] \quad (2.5)$$

Fungsi Implikasi

Setiap aturan (proposisi) dalam basis pengetahuan *Fuzzy* berhubungan dengan suatu relasi *Fuzzy*. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah:

JIKA x adalah A MAKA y adalah B

Dimana x dan y adalah nilai skalar, dan A serta B adalah himpunan *Fuzzy*. Proposisi yang mengikuti kata *IF* disebut sebagai anteseden, sementara proposisi yang mengikuti *THEN* disebut sebagai konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operator *Fuzzy*, seperti:

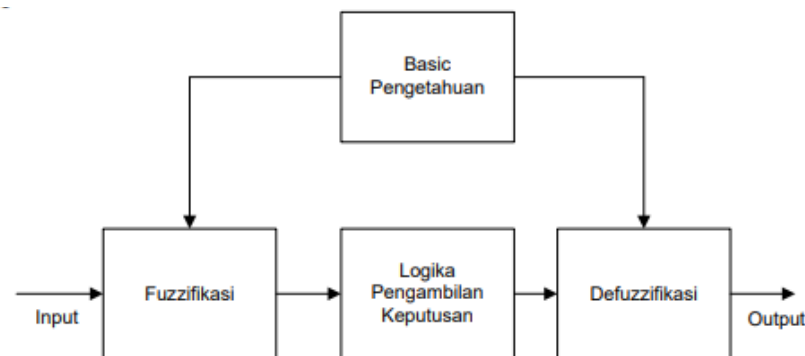
JIKA (x_1 adalah A_1), (x_2 adalah A_2), (x_3 adalah A_3) (x_n adalah A_n) MAKA y adalah B

Dimana operator (seperti OR, AND, atau NOT) diterapkan, dan Min (minimum) digunakan [20].

Fungsi ini akan memotong hasil dari himpunan *Fuzzy*.

2.3.3. Tahapan dalam *Fuzzy*

Proses dimulai dengan tahap *fuzzifikasi*, yang mencakup pembuatan fungsi keanggotaan. Selanjutnya, tahap inferensi dilakukan, yang melibatkan pembuatan basis aturan. Terakhir, tahap *defuzzifikasi* merupakan proses menghasilkan *output* dari keseluruhan rangkaian proses tersebut. Tahapan-tahapan dalam kontrol logika *Fuzzy* ini dapat dilihat dengan jelas pada gambar 2.12 tahapan dalam *Fuzzy* [15].



Gambar 2.9 Tahapan Dalam *Fuzzy*

2.3.4. *Fuzzyfikasi*

Fuzzifikasi adalah proses pemetaan nilai *input* ke dalam variabel linguistik yang menggambarkan derajat keanggotaan dalam logika *Fuzzy*. Pada desain *input* pengontrol logika *Fuzzy*, terdapat dua *input* yaitu *error* dan *delta error*. Rentang fungsi keanggotaan untuk *input error* dan *delta error* ditentukan berdasarkan pembacaan level dari pemancar [15]. Untuk pemetaan fungsi keanggotaan, desain ini menggunakan tiga fungsi keanggotaan dengan jenis fungsi keanggotaan Gaussian. Pemilihan fungsi Gaussian dilakukan melalui metode *trial and error*

[16]. Penggunaan tipe Gaussian dipilih karena apabila tipe lain digunakan, simulasi *plant* tidak dapat dijalankan atau menyebabkan *error*.

2.3.5. Logika Pengambilan Keputusan

Pada tahap ini, dilakukan pengambilan keputusan berdasarkan nilai yang diperoleh dari *fuzzifikasi* dan *rule base* yang telah disusun. Prinsip kerja logika *Fuzzy* menggunakan kombinasi aturan jika-maka (*if-then*) untuk mengonversi *input Fuzzy* menjadi *output* dalam bentuk himpunan *Fuzzy*.

2.3.6. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses kebalikan dari *fuzzifikasi*, yang mengubah himpunan *Fuzzy* menjadi nilai nyata berdasarkan aturan dan keputusan yang telah ditetapkan sebelumnya. Hasil dari tahap ini adalah nilai *output* yang berasal dari himpunan *Fuzzy*.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan dalam pembuatan alat dan pengujian untuk pengambilan data pada penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung. Waktu penelitian ini dijadwalkan pada bulan Desember 2024 hingga bulan Juli 2025 dengan jadwal sebagai berikut:

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi perangkat keras (*Hardware*) dan perangkat lunak (*Software*) adalah berikut:

3.2.1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi berbagai komponen utama yang dirancang untuk mendukung sistem secara optimal adalah sebagai berikut:

1. Baterai *Li-Ion* sebagai beban.
2. *Microcontroller* arduino mega 2560 digunakan untuk menghasilkan PWM dan pembacaan sensor.
3. Rangkaian SEPIC , yang didalamnya terdapat MOSFET, Induktor dan Kapasitor.
4. Rangkaian *Gate Driver*, yang berfungsi menguatkan sinyal PWM dari *microcontroller*.
5. Sensor arus ACS712, untuk mengukur nilai arus dari konverter.
6. Sensor pembagi tegangan untuk mengukur nilai tegangan *input* dan *output*

7. *Osilloscope*

8. Laptop Acer .

3.2.2. Perangkat lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa program utama yang dirancang untuk mendukung pengoperasian sistem adalah sebagai berikut:

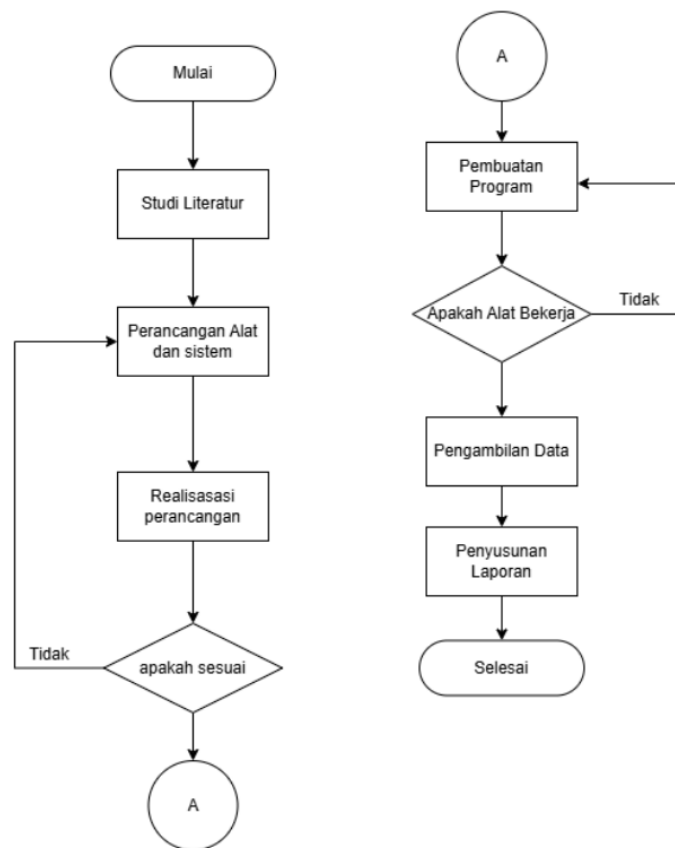
1. Arduino IDE, untuk pembuatan program yang dimasukkan kedalam *microcontroller*.
2. Matlab Simulink, untuk mensimulasikan rangkaian
3. EasyEDA, untuk membuat *layout* PCB
4. Microsoft Office 2021

3.3. Metode penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi diagram alir penelitian, diagram alir sistem, serta perancangan alat dan *Fuzzy Logic*. Setiap tahap dilakukan secara terstruktur untuk memastikan kelancaran proses dan hasil yang tepat. Diagram alir penelitian menggambarkan urutan kegiatan, sementara diagram alir sistem menunjukkan alur operasional. Perancangan alat dan sistem mempertimbangkan integrasi komponen untuk mencapai tujuan penelitian secara efisien.

3.3.1. Diagram Alir Penelitian

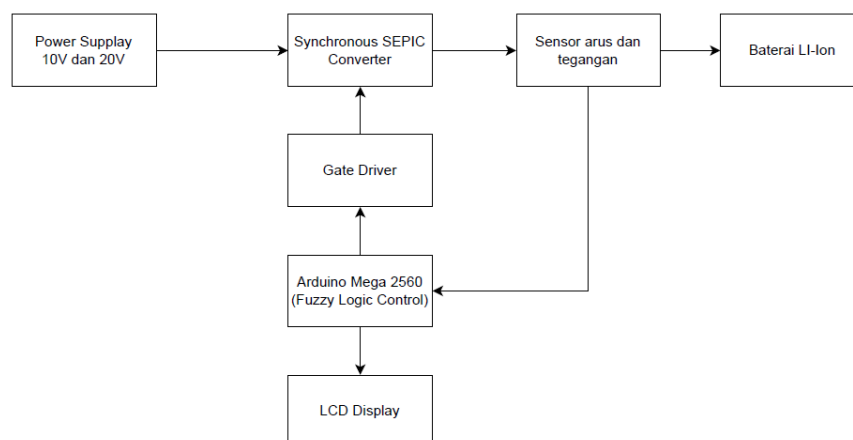
Diagram alir penyelesaian penelitian ini secara umum mencakup tahapan-tahapan utama yang dapat dilihat pada Gambar 3.1, mulai dari studi literatur hingga penyusunan laporan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.2. Diagram alir sistem

Diagram alir sistem pada penelitian ini secara umum menggambarkan tahapan-tahapan proses yang dapat dilihat pada Gambar 3.2, mencakup alur kerja dari awal hingga akhir sistem.



Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem

Sistem ini dirancang untuk mengisi baterai *Li-Ion* menggunakan *Synchronous SEPIC* berkapasitas 50W yang dikendalikan oleh Arduino Mega 2560 dengan metode *Fuzzy Logic*. *Input* berasal dari *power supply*, di mana arus diukur menggunakan sensor arus ACS712 dan tegangan diukur menggunakan sensor pembagi tegangan untuk memastikan *input* sesuai kebutuhan konverter. Data dari sensor tersebut diproses oleh Arduino Mega 2560 sebagai masukan *Fuzzy Logic*, yang kemudian menghasilkan sinyal PWM untuk dikirimkan ke *gate driver*. Sistem juga memiliki sensor tambahan di sisi baterai untuk memantau kondisi arus dan tegangan selama pengisian berlangsung. Informasi seperti status pengisian, tegangan, dan arus ditampilkan pada *LCD Display*.

3.3.3. Perancangan Alat dan Sistem

Dalam tahapan perancangan alat, terdiri dari beberapa tahap yang akan dilakukan antara lain:

3.3.3.1. Perancangan SEPIC

Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai dari setiap komponen pada SEPIC adalah sebagai berikut:

Langkah awal dalam menentukan nilai komponen pada SEPIC yaitu menentukan nilai frekuensi *switching* MOSFET, menentukan nilai *Duty cycle* (D_{max}) maksimum dan *Duty cycle* minimum (D_{min}) untuk kerja SEPIC pada mode *Continous Conduction Mode* (CCM) adalah sebagai berikut:

$$D = \frac{V_{out} + V_d}{V_{in} + V_{out}} \quad (3.1)$$

$$D_{max} = \frac{V_{out} + V_d}{V_{in(min)} + V_{out}} \quad (3.2)$$

$$D_{max} = \frac{13 + 0.5}{10 + 13}$$

$$D_{max} = 0.572$$

$$D_{min} = \frac{V_{out} + V_d}{V_{in(max)} + V_{out}} \quad (3.3)$$

$$D_{min} = \frac{13 + 0.5}{20 + 13}$$

$$D_{min} = 0.4$$

Setelah didapat nilai *duty cycle*. Langkah selanjutnya menentukan arus *input* maksimal ($I_{in(max)}$) yang dapat masuk ke SEPIC dengan persamaan 3.4

$$I_{in(max)} = I_{out} \times \frac{D_{max}}{1 - D_{max}} \quad (3.4)$$

$$I_{in(max)} = 4 \times \frac{0.572}{1 - 0.572}$$

$$I_{in(max)} = 5,4 \text{ A}$$

Setelah didapat nilai $I_{in(max)}$, selanjutnya menghitung nilai *ripple* arus pada induktor (ΔI_L) menggunakan persamaan 3.5

$$(\Delta I_L) = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in(min)}} \times 40\% \quad (3.5)$$

$$(\Delta I_L) = 4 \times \frac{13}{10} \times 40\%$$

$$(\Delta I_L) = 2,08 \text{ A}$$

Dari hasil tersebut, dapat menghitung nilai induktor yang akan digunakan. Untuk menghitung besaran nilai induktor (L_1 dan L_2) pada SEPIC menggunakan persamaan 3.6

$$L_1 = L_2 \geq \frac{V_{in(min)}}{\Delta I_L \times F_{sw}} \times D_{max} \quad (3.6)$$

$$L_1 = L_2 \geq \frac{10}{2,08 \times 62500} \times 0,572$$

$$L_1 = L_2 \geq 44,5$$

Selanjutnya menghitung nilai kapasitor kopling (C_c) yang akan digunakan pada SEPIC dengan menggunakan persamaan 3.7

$$C_c \geq \frac{D_{max} \times I_{out}}{\Delta I_L \times V_{out} \times F_{sw}} \quad (3.7)$$

$$C_c \geq \frac{0.572 \times 4}{2.08 \times 13 \times 62500}$$

$$C_c \geq \frac{0.572 \times 4}{2.08 \times 13 \times 62500}$$

$$C_c \geq 13,6 \mu F$$

Dan menghitung nilai kapasitor pada *output* (C_{out}) sebagai filter pada SEPIC dengan menggunakan persamaan 3.8

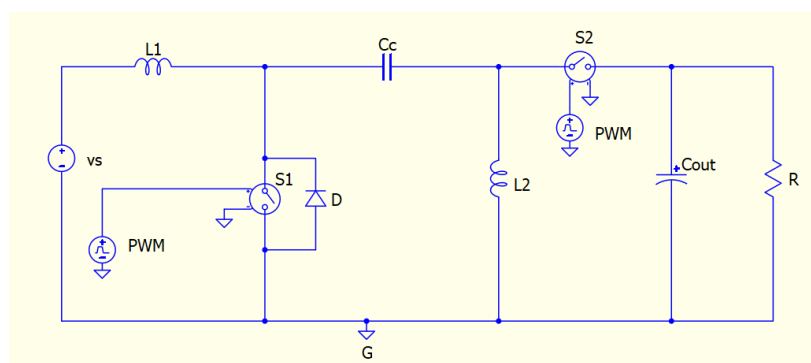
$$C_{out} \geq \frac{I_{out} \times D_{max}}{V_{ripple} \times f_{sw} \times V_d} \quad (3.8)$$

$$C_{out} \geq \frac{4 \times 0.572}{0,13 \times 62500 \times 0.5}$$

$$C_{out} \geq 566.15 \mu F$$

Dipilih kapasitor sebesar $600 \mu F$

Adapun gambar perancangan *Synchronous* SEPIC dapat dilihat dari Gambar 3.3



Gambar 3.3 *Synchronous* SEPIC

Parameter yang ditetapkan pada rangkaian tersebut meliputi beberapa nilai yang penting untuk memastikan kinerja optimal dari *Synchronous* SEPIC, seperti

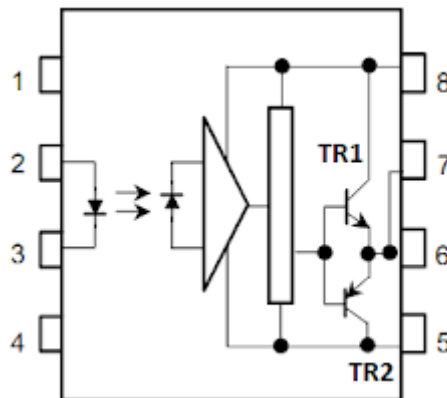
tegangan masukan, tegangan *output*, daya, arus *output*, dan frekuensi switching. Nilai-nilai tersebut berfungsi untuk mengatur dan memantau operasi sistem sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Adapun rincian parameter tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter *Synchronous* SEPIC

PARAMETER	NILAI
Tegangan Masukan (V_{in})	10 dan 20 Volt
Tegangan <i>Output</i> (V_{out})	13 Volt
Daya	50 Watt
Arus <i>Output</i> maksimum	4 A
Frekuensi Switching	62.5 kHz

3.3.3.2. Perancangan Gate Driver

Pada penelitian ini digunakan *gate driver* TLP250 untuk memperkuat sinyal PWM dari *microcontroller* sebelum diteruskan ke gate MOSFET pada rangkaian *Synchronous* SEPIC. TLP250 dipilih memiliki isolasi galvanik antara sisi kontrol dan daya, serta mampu mengendalikan MOSFET N-channel dengan frekuensi switching tinggi. Dua buah TLP250 digunakan untuk masing-masing MOSFET, yaitu MOSFET *High-side* dan MOSFET *low-side*. Tegangan V_{cc} sebesar 15 V diberikan pada sisi *output* TLP250 guna memastikan sinyal PWM yang diteruskan ke gate MOSFET sehingga mampu membuka *gate* MOSFET.



Gambar 3.4 *Gate Driver* TLP250

3.3.3.3. Spesifikasi Baterai

Baterai *Li-Ion* berfungsi sebagai beban pada *Synchronous* SEPIC. Baterai Li-Ion memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 spesifikasi baterai.

Tabel 3.2 Spesifikasi baterai

Tegangan Nominal	11.1 V
Kapasitas	9400mAh
Maksimum Tegangan	12.6V
Minimum Tegangan	9 V
Model/Serial	SN3610-12

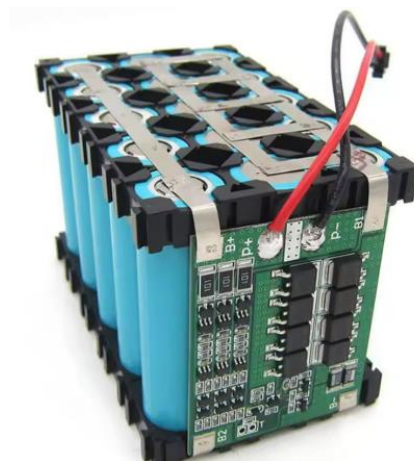
Tegangan yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah 12V, maka baterai tersebut disusun secara seri sebanyak tiga buah. 3 sel dihubungkan seri (3S), sehingga:

$$3.7 \times 3 = 11.1 \text{ V (nominal)}$$

$$4.2 \times 3 = 12.6 \text{ V (penuh)}$$

$$3.0 \times 3 = 9.0 \text{ V (minimum)}$$

Dalam penelitian ini digunakan BMS (*Battery Management System*). Secara keseluruhan rangkaian baterai yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Baterai *Li-Ion* Dilengkapi BMS

3.3.3.4. Perancangan Sensor Tegangan

Tahap untuk merancang sensor tegangan adalah mengetahui tegangan maksimum yang dapat terbaca oleh *microcontroller*. Pada *microcontroller* Arduino Mega 2560 tegangan adc yang mampu dibaca adalah 5V. Sehingga dari persamaan dapat digunakan nilai resistor sebesar

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.9)$$

$$5V = 55V \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = 10R_2$$

Dari hasil perhitungan digunakan resistor dengan rasio 1:10. Pada penelitian digunakan resistor sebesar 100k Ω dan 10k Ω . Sensor dirancang dapat membaca tegangan hingga batas maksimal sebesar 55V.

3.3.4. Perancangan *Fuzzy Logic*

Tahapan perancangan pengendalian bertujuan menentukan *output* yang diinginkan sesuai dengan *set point* yang diinginkan. *Fuzzy Logic* digunakan untuk mengatur nilai *duty cycle* pada rangkaian *Synchronous SEPIC*. Dalam penelitian ini dirancang sistem pengendalian *Fuzzy Logic* menggunakan metode Mamdani, sistem ini sebagai pengendali sistem tertutup dengan dua parameter *input* yaitu *error* (E) dan *delta error* (ΔE), serta satu parameter *output* yaitu PWM.

Nilai *error* dapat dihitung berdasarkan selisih antara tegangan *set point* dengan nilai tegangan *output* sebenarnya dapat dilihat pada persamaan (3.10)

$$E(t) = V_{sp} - V_a \quad (3.10)$$

Keterangan:

$E(t)$ = Nilai *error* pada waktu ke- t

V_{sp} = Tegangan *set point*

V_a = Tegangan aktual *output* pada waktu ke- t

Nilai *delta error* dapat dihitung dari selisih antara *error* saat ini dengan nilai eror sebelumnya, dapat dilihat pada persamaan (3.11)

$$\Delta E(t) = E(t) - E(t - 1) \quad (3.11)$$

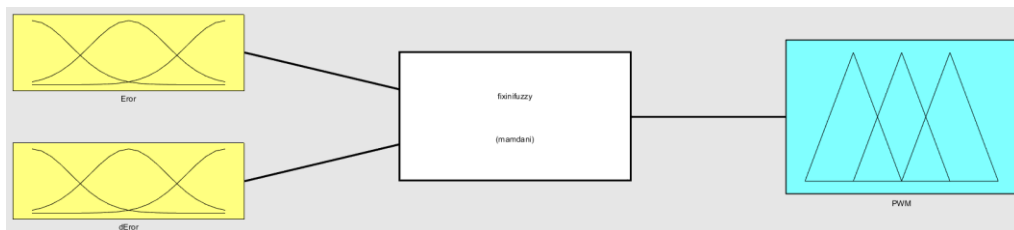
Keterangan

$\Delta E(t)$ = Perubahan error p ada waktu ke- t

V_{sp} = Nilai error pada waktu ke- t .

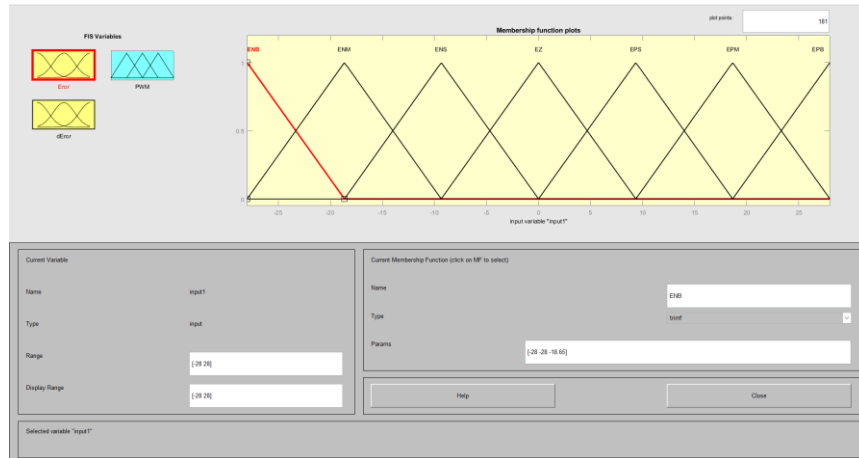
$E(t - 1)$ = Nilai error pada waktu sebelumnya ($t-1$)

Fuzzy Logic terlebih dahulu dirancang pada *software* Matlab Simulink. Perancangan sistem kendali *Fuzzy Logic* dapat dilihat pada gambar. Menampilkan dua variabel *input* dan satu variabel *output* dengan metode mamdani.



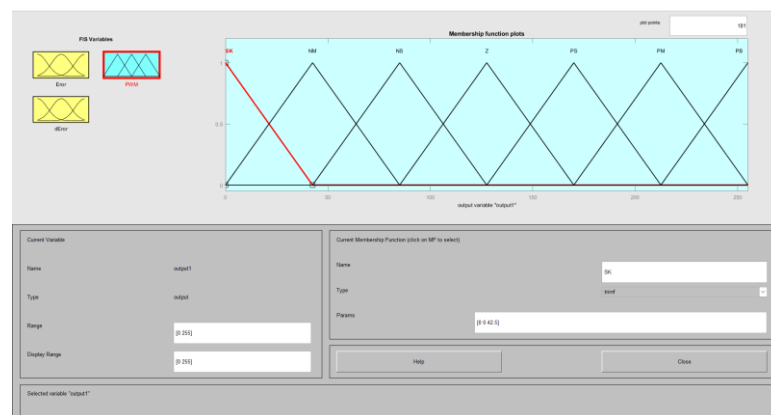
Gambar 3.6 Perancangan Sistem Kendali *Fuzzy Logic*

Sistem dirancang menggunakan grafik keangotan kurva segitiga. Pada *input error* semesta pembilang memiliki interval nilai $[-13,13]$ dan *delta error* semesta pembilang memiliki interval nilai $[-26,26]$. Pada *input Fuzzy Logic* kurva keanggotaan yang ditetapkan adalah tujuh himpunan *Fuzzy* yaitu NB (*Negative Big*), NM (*Negative Medium*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PM (*Positive Small*), PM (*Positive Medium*), dan PB (*Positive Big*). Hasil yang diharapkan memiliki nilai akurasi dan respon transien yang cepat sehingga sistem menjaga kestabilan nilai *output* sesuai *set point* yang diinginkan. Pada gambar 3.7 Dapat dilihat bahwa terdapat tujuh buah kurva segitiga.



Gambar 3.7 Membership Function Input Fuzzy Logic

Perancangan *output Fuzzy Logic*, semesta pembilang memiliki interval nilai $[0,255]$. Nilai interval ini merupakan *output* PWM yang akan digunakan pada *microcontroller* 8 bit. Kurva keanggotaan *output* yang ditetapkan adalah tujuh himpunan *Fuzzy* yaitu NB (*Negative Big*), NM (*Negative Medium*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PM (*Positive Small*), PM (*Positive Medium*), dan PB (*Positive Big*).



Gambar 3.8 Membership Function Output Fuzzy Logic

Pembentukan *rule base* merupakan Langkah untuk mendefinisikan hubungan antara variabel *input* dan *output*. Dalam membentuk *rule base* menggunakan hubungan *if-then*, *Membership Function input* memberikan empat puluh sembilan sesuai dengan perkalian matriks 7×7 . Dapat dilihat pada tabel 3.3 Jumlah aturan yang ditetapkan.

Tabel 3.3 *Input Error Fuzzy Logic*

<i>Input Error</i>	
ENB	[-13 -13 -8.67]
ENM	[-13 -8.67 -4.33]
ENS	[-8.67 -4.33 0]
EZ	[-4.33 0 4.33]
EPS	[0 4.33 8.67]
EPM	[4.33 8.67 13]
EPB	[8.67 13 13]

Tabel 3.4 *Input delta Error Fuzzy Logic*

<i>Input delta Error</i>	
dENB	[-26 -26 -17.33]
Denm	[-26 -17.33 -8.667]
dENS	[-17.33 -8.667 0]
dEZ	[-8.667 0 8.667]
dEPS	[0 8.667 17.33]
dEPM	[8.667 17.33 26]
dEPB	[17.33 26 26]

Tabel 3.5 *Output PWM Fuzzy Logic*

<i>Output PWM</i>	
NB	[0 0 42.5]
NM	[0 42.5 85]
NS	[42.5 85 127.5]
Z	[85 127.5 170]
PS	[127.5 170 212.5]
PM	[170 213 255]
PB	[212 255 255]

Tabel 3.6 *Rule base system Fuzzy Logic*

E/De	DNB	DNM	DNS	DZ	DPS	DPM	DPB
ENB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
ENM	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
ENS	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
EZ	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
EPS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
EPM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
EPB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

3.3.5. Pengujian Sistem

Pengujian tegangan *output* dan respon *Fuzzy Logic Control* terhadap perubahan *input* pada *Synchronous SEPIC* dilakukan untuk memastikan kestabilan tegangan selama proses pengisian baterai *Li-Ion*. Dalam pengujian ini, tegangan *output* diukur secara langsung dan dipantau menggunakan sensor. Nilai tegangan yang terdeteksi kemudian dibandingkan dengan *set point* pengisian yang telah ditetapkan untuk memastikan bahwa tegangan tetap sesuai dengan kebutuhan baterai. *Fuzzy Logic Control* berperan dalam mengatur *duty cycle* PWM berdasarkan perbedaan antara tegangan *output* dan *setpoint*, sehingga konverter dapat menyesuaikan tegangan *output*.

Selain itu, dalam pengujian ini juga dianalisis karakteristik respon dinamis sistem, yaitu *settling time* (t_s), *rise time* (t_r), dan *overshoot* (M_p). Parameter-parameter ini penting untuk mengevaluasi performa sistem dalam mencapai kestabilan setelah terjadi perubahan *input* atau gangguan.

1. *Rise Time* (t_r)

Waktu yang dibutuhkan tegangan *output* untuk naik dari 10% ke 90% nilai akhir *setpoint*. Nilai *Rise Time* dapat dihitung dengan persamaan 3.11

$$t_r = t_{90\%} - t_{10\%} \quad (3.12)$$

2. *Overshoot (Mp)*

Kenaikan maksimum tegangan *output* di atas nilai *setpoint* yang terjadi selama transien, dinyatakan dalam persen terhadap *setpoint*. Nilai *Rise Time* dapat dihitung dengan persamaan 3.12

$$Mp = \frac{V_{max} - V_{setpoint}}{V_{setpoint}} \times 100\% \quad (3.13)$$

3. *Settling Time (ts)*

Waktu yang dibutuhkan tegangan *output* untuk mencapai dan tetap berada dalam batas toleransi tertentu (umumnya $\pm 5\%$ dari *setpoint*) hingga keadaan tunak.

$$ts = \text{waktu saat respon berada dalam batas } \pm 5\% \text{ dari } V \quad (3.14)$$

Melalui parameter-parameter ini, dapat diketahui seberapa cepat, akurat, dan stabil sistem dalam menyesuaikan tegangan *output* saat terjadi perubahan kondisi, sekaligus menguji efektivitas pengendalian *Fuzzy Logic* dalam menjaga tegangan pengisian baterai *Li-Ion*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. *Synchronous* SEPIC berhasil mengatur tegangan *output* untuk pengisian baterai *Li-Ion*. Alat yang dirancang mampu mempertahankan tegangan *output* sebesar 13V meskipun terjadi variasi tegangan *input* antara 10V dan 20V. Selain itu, alat juga dapat bekerja sebagai penaik tegangan maupun penurun tegangan sesuai kondisi *input*.
2. Metode *Fuzzy Logic* terbukti mampu mengoptimalkan pengendalian *duty cycle* pada *Synchronous* SEPIC. Sistem dapat menyesuaikan nilai *duty cycle* berdasarkan nilai *error* dan *delta error* sehingga tegangan *output* tetap stabil di *set point* 13V meskipun terjadi perubahan tegangan *input*. Respons transien konverter menunjukkan performa *rise time* sekitar 2,75 dan 2,76 detik, *overshoot* kecil sebesar 0,307 dan 0,54%, dan *settling time* kurang dari 4 detik.
3. Hasil perancangan komponen pada sistem menunjukkan kinerja optimal sesuai spesifikasi yang dirancang. Komponen utama yang digunakan antara lain dua MOSFET IRFP250N sebagai saklar utama, kapasitor coupling 12 μF , kapasitor *output* 660 μF , induktor 45 μH , gate driver TLP250, sensor arus ACS712, serta sensor pembagi tegangan dengan konfigurasi resistor 100 $\text{k}\Omega$ dan 10 $\text{k}\Omega$. Seluruh komponen bekerja sesuai rancangan, mendukung performa sistem dalam menjaga kestabilan tegangan dan arus selama proses pengisian baterai

5.2. Saran

1. *Synchronous* SEPIC dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi sistem hybrid yang terintegrasi dengan sumber energi terbarukan, seperti panel surya. Pengembangan tidak hanya meningkatkan kestabilan sistem pengisian baterai, tetapi juga memberikan kontribusi dalam mendukung penggunaan energi ramah lingkungan. Sistem ini dapat dilengkapi dengan fitur tambahan seperti *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk memaksimalkan pemanfaatan daya dari sumber energi terbarukan.
2. Sebagai pengembangan, sistem *Synchronous* SEPIC dengan pengendali *Fuzzy Logic* dapat dilengkapi fitur IoT untuk monitoring dan kontrol jarak jauh. Integrasi IoT memungkinkan pengguna memantau tegangan, arus, dan status pengisian baterai secara real-time melalui aplikasi atau web, sehingga meningkatkan kemudahan pengoperasian sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Hartono, F. Abdullatif, A. N. Aziz, and S. Iksan, "DC to DC converter sebagai pembangkit tegangan tinggi pada resistivity meter," *Jurnal Teras Fisika*, vol. 6, no. 1, p. 34, May 2023, doi: 10.20884/1.jtf.2023.6.1.8812.
- [2] A. I. Gemilang, I. Purnama, and B. S. Aprillia, "REGULASI TEGANGAN PADA KONVERTER SEPIC DENGAN METODE *FUZZY LOGIC FUZZY LOGIC* METHOD BASED SEPIC CONVERTER VOLTAGE REGULATOR," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Aug. 2021.
- [3] R. Fibrianti, "Rancang Bangun SEPIC (Single-Ended Primary Inductance Converter) untuk Aplikasi MPPT (Maximum Power Point Tracker) Jenis Constant Voltage(CV)," *Jurnal Teknologi Elektrika*, vol. 4, no. 2, p. 7, Nov. 2020, doi: 10.31963/elekterika.v4i2.2159.
- [4] T. G. Workineh, B. Z. Taye, A. H. Nebey, and E. M. Getie, "PI-like *Fuzzy* based synchronous SEPIC converter control for PV-fed small scale irrigation DC pump," *Cogent Eng*, vol. 8, no. 1, 2021, doi: 10.1080/23311916.2021.1893590.
- [5] B. S. Lelono Widjiantoro and M. Febry Pandu Wijaya, "DESIGN PROTOTYPE BUCK CONVERTER FOR BATTERY CHARGER IN BATTERY TRAM PT INKA MADIUN," 2020.
- [6] A. Rais Wiguna *et al.*, "RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN BATTERY PACK LITHIUM ION," 2021.
- [7] C. N. Van and D. T. Quang, "State of charge estimation for Lithium-Ion battery cell considering the influence of aging parameters and operating temperature," *Int J Electrochem Sci*, vol. 18, no. 12, 2023, doi: 10.1016/J.IJOES.2023.100379.

- [8] S. Lee and D. Lee, "A Novel Battery State of Charge Estimation Based on Voltage Relaxation Curve," *Batteries*, vol. 9, no. 10, Oct. 2023, doi: 10.3390/batteries9100517.
- [9] Jensak Eakburanawat and Itsda Boonyaroonate, "Development of a thermoelectric battery-charger with microcontroller-based maximum power point tracking technique."
- [10] D. Nagaraju and S. K. Abdul Pasha, "ANN-SEPIC Converter Based Bidirectional Battery Charger for a Wide Range of Electric Vehicles," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Sep. 2024. doi: 10.1051/e3sconf/202456402005.
- [11] A. El Khateb, N. A. Rahim, J. Selvaraj, and M. N. Uddin, "Fuzzy-Logic-controller-based SEPIC converter for maximum power point tracking," *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 50, no. 4, pp. 2349–2358, 2014, doi: 10.1109/TIA.2014.2298558.
- [12] A. X. Svensson, "Degree Project in Electric Power Engineering Investigation of switching power losses of SiC MOSFET used in a DC/DC Buck converter," 2022.
- [13] X. Jin, J. Liu, W. Chen, and T. Shi, "Optimized Synchronous Pulse Width Modulation Strategy Based on Discontinuous Carriers," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 5, Mar. 2023, doi: 10.3390/en16052401.
- [14] A. Setiawan and C. Kumaratunga, "Frontier Energy System and Power Engineering SYNCHRONOUS AC CHOPPER FOR UNIVERSAL MOTOR SPEED CONTROL USING FUZZY LOGIC," vol. 3, no. 2, pp. 13–24, 2021, doi: 10.17977/um048v3i2p13-24.
- [15] V. M. Nasution and G. Prakarsa, "Perancangan Aplikasi Fuzzy Logic Untuk Prediksi Kasus Positif Covid-19 Menggunakan Metode Tsukamoto," *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 5, no. 4, p. 1642, Oct. 2021, doi: 10.30865/mib.v5i4.3338.

- [16] S. Kusumadewi and H. Purnomo, “Aplikasi Logika *Fuzzy* untuk Pendukung Keputusan,”. Yogyakarta : Graha Ilmu, 2013
- [17] A. H. Loka, T. Hardianto, and B. S. Kaloko, “DESIGN AND CONSTRUCTION OF CONTROL SYSTEM SEPIC CONVERTER FOR SOLAR PANEL BASED ON *FUZZY LOGIC*,” *J Theor Appl Inf Technol*, vol. 20, no. 2, 2016, [Online]. Available: www.jatit.org
- [18] E. Julpia and A. * Mashuri, “IMPLEMENTASI LOGIKA *FUZZY* METODE MAMDANI PADA PREDIKSI BIAYA PEMAKAIAN LISTRIK,” 2021. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujm>
- [19] Hendro Rosyidi Setiawan, “SISTEM KONTROL *FUZZY LOGIC* PADA GENERATOR DC PENGUATAN TERPISAH BERBASIS ARDUINO UNO R3,” 2019.
- [20] S. Silvilestari, “Expert System Logika *Fuzzy* Penentuan Proses Penanaman Bibit Unggul Kayu Manis dengan Metode Mamdani,” *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 3, no. 3, pp. 141–147, Dec. 2021, doi: 10.47065/bits.v3i3.1014.