

**IMPLEMENTASI PENGENDALI *FUZZY LOGIC* PADA *SYNCHRONOUS*
ZETA CONVERTER UNTUK KENDALI KECEPATAN MOTOR DC**

(Skripsi)

Oleh

BENYAMIN RISKI LAIA

NPM 2115031030



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**IMPLEMENTASI PENGENDALI *FUZZY LOGIC* PADA *SYNCHRONOUS*
ZETA CONVERTER UNTUK KENDALI KECEPATAN MOTOR DC**

Oleh

BENYAMIN RISKI LAIA

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

IMPLEMENTASI PENGENDALI *FUZZY LOGIC* PADA *SYNCHRONOUS ZETA CONVERTER* UNTUK KENDALI KECEPATAN MOTOR DC

Oleh

BENYAMIN RISKI LAIA

Pengendalian kecepatan motor DC secara stabil merupakan tantangan utama dalam industri, terutama saat menghadapi perubahan beban. Penelitian ini mengusulkan *Synchronous Zeta Converter* (SZC) yang dikombinasikan dengan kontrol *Fuzzy Logic* untuk mengatasi masalah tersebut. SZC dipilih karena kemampuannya menaikkan/menurunkan tegangan dengan efisiensi tinggi dan mengurangi rugi-rugi daya menggunakan MOSFET. Tujuannya adalah merancang SZC dengan *input* 24V dan *output* 220V (200W) serta mengembangkan algoritma *Fuzzy logic* untuk mengoptimalkan pengendalian kecepatan motor DC. Metode penelitian meliputi perancangan hardware SZC dengan komponen seperti induktor L1 (4800 μ H) dan L2 (550 μ H), kapasitor C1 (10 μ F), kapasitor C2 (12 μ F), serta MOSFET IRFP250N, serta kontrol *Fuzzy* berbasis Mamdani dengan 49 aturan. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mengatur kecepatan motor DC pada 800-1400 RPM dengan *overshoot* rendah (<5%), *rise time* 1-2 detik, dan *settling time* 2-4 detik. Pengujian dinamik dengan perubahan *setpoint* dari 800 RPM ke 1200 RPM membuktikan respons cepat dan akurat (*rise time* 1.7 detik, *settling time* 3 detik). Kombinasi SZC dan *Fuzzy logic* ini terbukti efisien, adaptif, dan stabil, sehingga layak diaplikasikan dalam industri yang memerlukan presisi tinggi.

Kata Kunci: *Synchronous Zeta Converter*, *Fuzzy Logic*, Motor DC, Pengendalian Kecepatan, *Converter Buck-Boost*.

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF *FUZZY* LOGIC CONTROLLER ON SYNCHRONOUS ZETA CONVERTER FOR DC MOTOR SPEED CONTROL

By

BENYAMIN RISKI LAIA

Maintaining stable DC motor speed control is a key challenge in the industry, especially when facing load variations. This study proposes a Synchronous Zeta Converter (SZC) combined with *Fuzzy* Logic control to address this issue. The SZC is chosen for its ability to step-up/step-down voltage with high efficiency and reduce power losses using MOSFETs. The objectives are to design an SZC with a 24V input and 220V output (200W) and develop a *Fuzzy* logic algorithm to optimize DC motor speed control. The research methodology includes designing the SZC hardware with components such as inductor L1 (4800 μ H) and L2 (550 μ H), capacitor C1 (10 μ F), capacitor C2 (12 μ F), and MOSFET IRFP250N, along with a Mamdani-based *Fuzzy* control system with 49 rules. Test results show that the system can regulate DC motor speed within 800–1400 RPM with low overshoot (<5%), a rise time of 1–2 seconds, and a settling time of 2–4 seconds. Dynamic testing with a setpoint change from 800 RPM to 1200 RPM demonstrates fast and accurate response (rise time 1.7 seconds, settling time 3 seconds). The combination of SZC and *Fuzzy* logic proves to be efficient, adaptive, and stable, making it suitable for high-precision industrial applications.

Keywords: Synchronous Zeta Converter, *Fuzzy* Logic, DC Motor, Speed Control, Buck-Boost Converter.

**Judul Skripsi : IMPLEMENTASI PENGENDALI FUZZY
LOGIC PADA SYNCHRONOUS ZETA
CONVERTER UNTUK KENDALI KECEPATAN
MOTOR DC**

Nama Mahasiswa : BENYAMIN RISKI LAIA

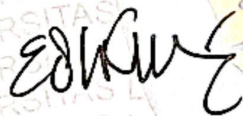
Nomor Pokok Mahasiswa : 2115031030

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

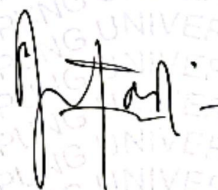
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.

NIP. 19710314 199903 1001

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Sumadi, S.T., M.T.

NIP. 19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

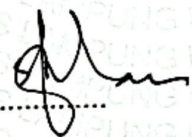
Ketua

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



Sekretaris

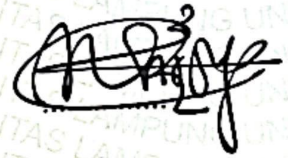
: Syaiful Alam, S.T., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing

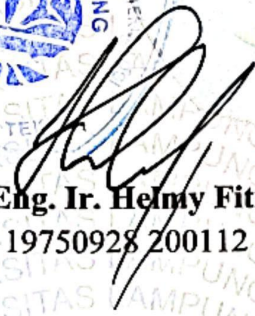
: Dr.Eng. Charles Ronald H, S.T.,M.T.



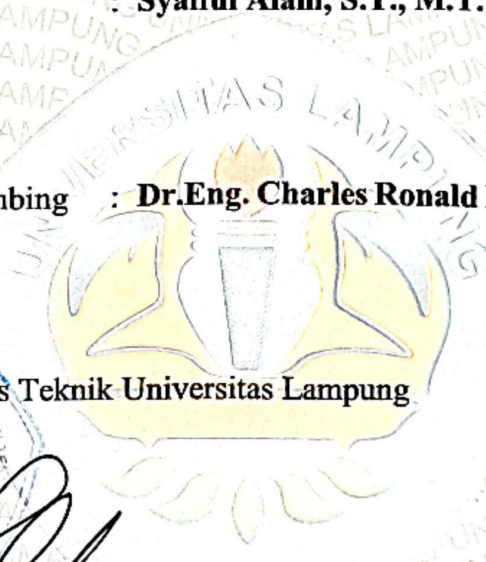
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

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

NIP. 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juni 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, 20 Juni 2025



Benyamin Riski Laia
NPM. 2115031030

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sibolga pada tanggal 20 Juni 2003, sebagai anak ke-2 dari 3 bersaudara, dari pasangan Bapak Taho Zomasi Laia dan Deniati Mendrofa.

Riwayat Pendidikan penulis dimulai dari SDN 154500 Aektolang pada tahun 2009 hingga 2015. SMPN 2 Pandan Nauli pada tahun 2015 hingga 2018. Kemudian SMAS ST Fransiskus pada 2018 hingga 2021.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). 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 Departemen Pengembangan Keteknikan pada tahun 2022 hingga tahun 2023 dan berkesempatan menjadi ketua pelaksana dari *Electrical Engineering in Action* pada tahun 2023. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. PLN (Persero) UP3 Tanjung Karang, Lampung dalam Satuan Kerja Divisi Jaringan dan Konstruksi serta membuat laporan yang berjudul “STUDI OPERASI DISTRIBUSI SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH PENYULANG PELANGI PADA PLN ULP KARANG”

PERSEMBAHAN

Skripsi ini, saya persembahkan untuk:

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

“Kedua Orang Tua saya yakni Taho Zomasi Laia dan Deniati
Mendrofa yang selalu mendukung dan percaya akan proses
perkuliahan yang saya lalui, ini semua untuk Bapak dan
Mamak tercinta”

“Abang dan Adek saya yang tersayang, Arnoldus Bobby
Arwanto Laia dan Cindy Imelda Laia”

Serta

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater”

MOTTO

“Bersukacitalah dalam pengharapan, sabarlah dalam
kesesakan, dan bertekunlah dalam doa”

Roma 12:12

“Karena masa depan sungguh ada, dan harapan mu tidak
akan hilang”

Amsal 23:18

“Tindakan nyata lebih baik daripada kata-kata indah”

Benjamin Franklin

“Bekerjalah untuk mencapai tujuan, bukan untuk mencari
perhatian”

Benyamin Riski Laia

SANWACANA

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, atas berkat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Implementasi Pengendali *Fuzzy Logic* Pada *Synchronous Zeta Converter* Untuk Kendali Kecepatan Motor DC” 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, Abang Bobby, Adek Cindy, serta keluarga besar Laia dan Mendrofa 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 Dr.Eng. Charles Ronald H, S.T.,M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, kritik dan arahan.
9. Bapak Dr. Eng. Ir. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., I.P.M. 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, Alex, Daniel, Rizky, Unedo. Ucapan terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada sahabat seperjuangan sesama perantauan, yang telah menjadi tempat berbagi suka dan duka selama masa perkuliahan. Kehadiran dan kebersamaan kalian telah menjadi penguat di tengah tantangan hidup merantau, serta memberi warna dalam setiap langkah perjalanan ini. Terima kasih atas canda, dukungan, dan semangat yang tidak pernah surut. Semoga persahabatan ini terus terjalin hingga masa depan.
13. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Jefri, Daniel, Ruli, Dona, Ananda, Siti, Luki, Alex, Marhadi, Bimo, Deni, Dina, Alfiza, Imando dan Zahra. Serta Adik – Adik asisten Lab KEE 2022. Terima kasih atas ilmu, bantuan, dan kerja samanya selama penulis menjadi asisten laboratorium.
14. Rekan – Rekan Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik, Eikel, Mahen, Serly, Rijal, Frissa, Tegar, Rika, Nadia, Imam, Rasyid, Desta, Irfan, dan lain – lain yang telah memberi bantuan, dukungan, dan menjadi rekan skripsi selama perkuliahan.
15. Keluarga besar Angkatan EXCALTO 2021, yang telah memberikan banyak motivasi, nilai-nilai sosial dan bantuan dalam berbagai hal.
16. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis

17. Keluarga besar Komunitas Mahasiswa Katolik Fakultas Teknik UNILA, telah menjadi rumah rohani dan tempat pertumbuhan iman saya selama masa perkuliahan.
18. Tak lupa, saya ingin mengucapkan terima kasih yang terdalem kepada diri saya sendiri. Terima kasih telah bertahan, meskipun sering merasa tidak seberuntung yang lain dalam menjalani kehidupan perkuliahan. Terima kasih telah memilih untuk tidak menyerah, untuk terus melangkah meskipun jalan terasa berat dan penuh liku. Di tengah keterbatasan dan tantangan, saya belajar bahwa kerja keras dan keteguhan hati adalah kekuatan sejati. Semua proses yang telah dilalui bukanlah hal yang mudah, namun diri ini berhasil melewatinya dan untuk itu, saya bersyukur.

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, 20 Juni 2025

Benyamin Riski Laia

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Zeta Converter	5
2.1.1 Prinsip Kerja Zeta Converter	6
2.1.2 Synchronous Zeta Converter	8
2.2 Motor DC	10
2.3 Fuzzy Logic.....	11
2.3.1 Metode Inferensi Fuzzy Logic	12
III. METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	15
3.3 Diagram Blok Sistem	16
3.4 Alat dan Bahan	17
3.4.1 Perangkat Keras	17
3.4.2 Perangkat lunak.....	17
3.5 Perancangan Alat dan Sistem	17
3.5.1 Perancangan Synchronous Zeta Converter	18

3.5.2 Perancangan <i>Gate Driver</i>	20
3.5.3 Perancangan <i>Fuzzy Logic Control</i>	20
3.5.4 Pengujian Sistem.....	21
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Hasil Perancangan <i>Synchronous Zeta converter</i>	22
4.2 Pengujian Sistem Kendali <i>Fuzzy</i>	24
4.2.1 Hasil Perancangan <i>Fuzzy</i>	24
4.2.2 Pengujian <i>Fuzzy Logic controller</i> pada <i>Synchronous Zeta Converter</i> ..	32
4.2.3 Pengujian Respon Sistem Dalam Keadaan Dinamis	36
V. KESIMPULAN.....	38
5.1 Kesimpulan.....	38
5.2 Saran.....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Rangkaian <i>Zeta Converter</i>	5
Gambar 2. 2 <i>Zeta Converter</i> Siklus <i>ON</i>	6
Gambar 2. 3 <i>Zeta Converter</i> Siklus <i>OFF</i>	7
Gambar 2.4 Bentuk gelombang tegangan dan arus ketika MOSFET <i>ON</i> dan <i>OFF</i>	7
Gambar 2. 5 <i>Synchronous Zeta Converter (SZC)</i>	9
Gambar 2. 6 Pulsa PWM <i>Dead-Time</i>	10
Gambar 2. 7 Motor DC	11
Gambar 2. 8 Penentuan arah gerak kawat berarus	11
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem	16
Gambar 3. 3 <i>Synchronous Zeta Converter</i>	18
Gambar 3. 4 TLP250.....	20
Gambar 3. 5 Tahapan <i>Fuzzy logic control</i>	21
Gambar 4. 1 Hasil Perancangan sistem <i>Synchronous Zeta converter</i>	22
Gambar 4. 2 Desain layout PCB <i>Synchronous Zeta converter</i>	23
Gambar 4. 3 Realisasi <i>Synchronous Zeta converter</i>	23
Gambar 4. 4 Fungsi Keanggotaan Variabel <i>Error</i>	26
Gambar 4. 5 Fungsi Keanggotaan Variabel <i>Delta error</i>	27
Gambar 4. 6 Fungsi Keanggotaan <i>Output</i>	29

Gambar 4. 7 (a) <i>Setpoint</i> 800RPM, (b) <i>Setpoint</i> 900RPM, (c) <i>Setpoint</i> 1000RPM, (d) <i>Setpoint</i> 1100RPM, (e) <i>Setpoint</i> 1200RPM, (f) <i>Setpoint</i> 1300 RPM, (g) <i>Setpoint</i> 1400RPM	35
Gambar 4. 8 Respon sistem kondisi dinamis	37

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian	14
Tabel 3. 2 Parameter Rangkaian <i>Synchronous Zeta Converter</i>	18
Tabel 4. 1 Spesifikasi komponen <i>Synchronous Zeta converter</i>	24
Tabel 4. 2 Fungsi keanggotaan <i>input variable Error</i>	25
Tabel 4. 3 Fungsi keanggotaan <i>Input Variable Delta Error</i>	26
Tabel 4. 4 Fungsi keanggotaan <i>Output Dutycycle</i>	28
Tabel 4. 5 <i>Rulebase Fuzzy Logic</i>	29
Tabel 4. 6 Penjabaran <i>Rules Fuzzy Logic</i>	30
Tabel 4. 7 Hasil pengujian respon sistem ketika <i>setpoint</i> bervariasi	35

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Motor DC (*Direct Current*) memegang peranan penting dalam berbagai aplikasi industri dan otomasi. Namun, tantangan utama dalam pengoperasian motor DC adalah menjaga kestabilan kecepatan ketika menghadapi perubahan beban atau variasi kecepatan yang diinginkan. Fluktuasi kecepatan dapat mengganggu kinerja sistem, dan mengurangi efisiensi energi. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendali yang tidak hanya responsif terhadap perubahan kecepatan, tetapi juga mampu mempertahankan stabilitas dalam berbagai kondisi operasi [1].

Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini memanfaatkan *Synchronous Zeta Converter* (SZC) sebagai pengatur daya motor DC. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada fluktuasi tegangan masukan, penelitian ini secara khusus menguji kinerja *converter* dalam mengendalikan kecepatan motor DC dengan *setpoint* kecepatan yang bervariasi. Keunggulan SZC terletak pada efisiensinya yang tinggi, kemampuan menaikkan dan menurunkan tegangan, dan pengurangan rugi-rugi daya melalui penggunaan MOSFET yang menggantikan dioda. Dengan karakteristik ini, *converter* ini diharapkan dapat memberikan respons tegangan yang cepat dan stabil untuk mengikuti perubahan kecepatan yang diinginkan.

Selain *converter* yang efisien, strategi pengendalian yang adaptif juga diperlukan untuk memastikan motor DC dapat mencapai kecepatan target dengan cepat dan mempertahankannya meskipun terjadi perubahan beban. Logika *Fuzzy* dipilih sebagai sistem kendali karena kemampuannya menangani sistem nonlinier dan ketidakpastian tanpa memerlukan model matematis yang kompleks. Dengan aturan

berbasis pengetahuan, kontroler *Fuzzy* dapat secara dinamis menyesuaikan *output converter* untuk mencapai respons kecepatan yang optimal.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan SZC yang mampu menghasilkan tegangan *output* yang stabil untuk mendukung kinerja motor DC.
2. Mengembangkan algoritma kontrol berbasis logika *Fuzzy* yang dapat mengendalikan kecepatan motor DC dengan baik sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang SZC yang mampu menghasilkan tegangan *output* yang stabil untuk menggerakkan motor DC?
2. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan kontrol berbasis *Fuzzy Logic* untuk mengoptimalkan pengendalian kecepatan motor DC?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan tugas akhir ini dituliskan sebagai berikut:

1. Sistem akan mengatur kecepatan motor DC pada beberapa *setpoint* RPM yang telah ditentukan, dan sistem pengendalian berfungsi untuk menjaga kecepatan motor agar tetap stabil berdasarkan *setpoint* yang ditentukan.
2. Pada penelitian ini, pengendalian kecepatan motor DC menggunakan kontrol *Fuzzy Logic* untuk menyesuaikan *duty cycle converter* berdasarkan *error* antara *setpoint* dan kecepatan motor aktual.
3. Tidak membahas motor dc secara detail.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menghasilkan sistem pengendalian motor DC yang stabil melalui penggunaan SZC.
2. Dengan penerapan logika *Fuzzy* , sistem ini mampu mengatur kecepatan motor DC sesuai *setpoint* RPM yang ditentukan.
3. Sistem ini dapat diimplementasikan secara luas pada aplikasi industri, kendaraan listrik, dan perangkat lain yang membutuhkan pengendalian motor DC yang andal dan hemat energi.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah bahwa penggunaan SZC dapat meningkatkan efisiensi daya pada sistem pengendali motor DC dibandingkan dengan *Zeta Converter* konvensional. Selain itu, implementasi logika *Fuzzy* pada sistem pengendali motor DC berbasis SZC diharapkan mampu memberikan performa kontrol yang lebih stabil, meskipun sistem dalam keadaan dinamis . Kombinasi dari kedua teknologi ini diharapkan dapat menciptakan sistem pengendali motor DC yang efisien, adaptif, dan mampu bekerja secara optimal.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi ke dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang masalah yang mendasari penelitian ini, tujuan penelitian yang ingin dicapai, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori pendukung yang berhubungan dengan penelitian ini.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini, yaitu waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, metode penelitian dan tahapan perhitungan komponen pada SZC.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menjelaskan tentang perancangan dan pengujian dari SZC dalam mengendalikan kecepatan motor dengan menggunakan kontrol logika *Fuzzy* .

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan berdasarkan hasil dan pembahasan, serta memberikan saran untuk penelitian lebih lanjut atau implementasi praktis dari hasil penelitian.

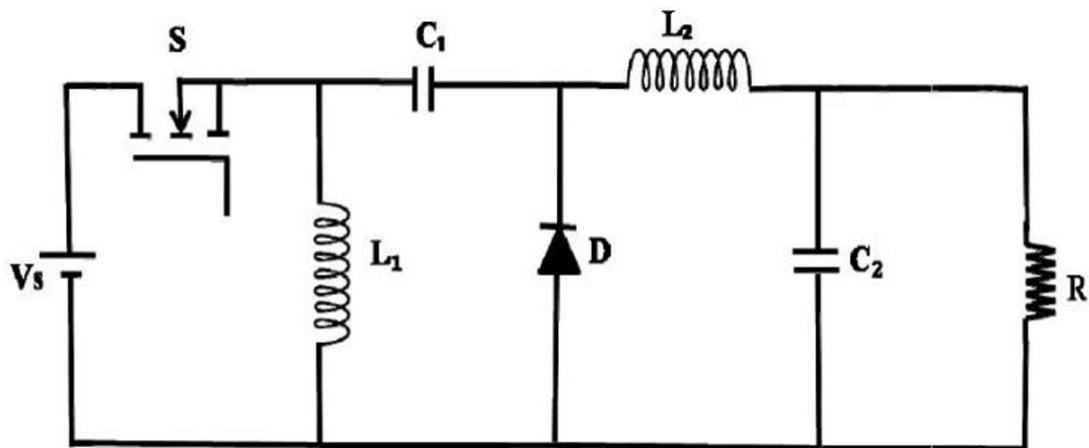
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zeta Converter

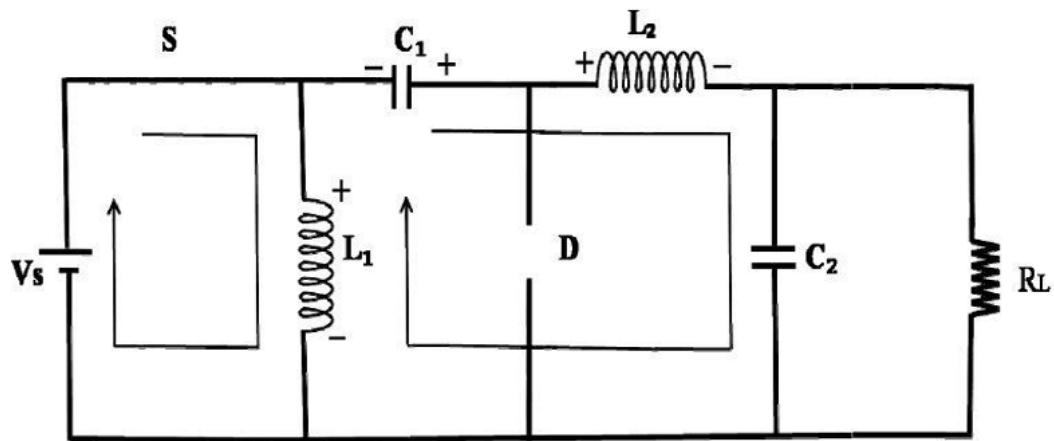
Zeta converter merupakan salah satu topologi converter DC – DC yang banyak digunakan untuk penaik dan penurun tegangan DC. Converter ini mampu menaikkan maupun menurunkan tegangan tanpa mengubah polaritas *Outputnya*. Sebagai salah satu jenis converter *buck-boost*, Zeta Converter memiliki keunggulan unik karena polaritas *Outputnya* tetap tidak berubah [1]. Efisiensi converter ini dan tingkat ripple tegangan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh peran induktor dan kapasitor dalam rangkaian. Energi dalam Zeta Converter ditransfer antara induktansi dan kapasitansi untuk mengubah energi tegangan menjadi bentuk energi lain. Proses transfer energi ini dikendalikan oleh sebuah perangkat switching S, seperti MOSFET [2]. Rangkaian Zeta Converter dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Rangkaian Zeta Converter

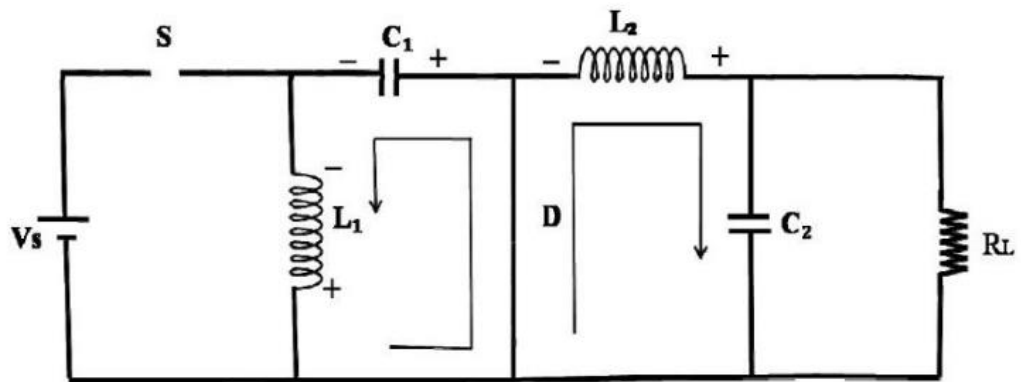
2.1.1 Prinsip Kerja Zeta Converter

Rangkaian Zeta Converter terdiri dari dua siklus operasi. Siklus pertama terjadi ketika MOSFET berada dalam kondisi *ON*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Dalam kondisi ini, dioda berada dalam keadaan *OFF*, sehingga dioda menjadi rangkaian terbuka (*open circuit*) [3], sementara saklar menjadi rangkaian tertutup (*short circuit*). Induktor L_i dan L_o berada dalam fase pengisian (*charging*), yang menyebabkan arus induktor I_{L1} dan I_{L2} meningkat secara linier. Kapasitor C_1 mengalami pengosongan muatan (*discharging*) untuk menyuplai energi kepada induktor L_o dan tegangan output V_o [4].



Gambar 2. 2 Zeta Converter Siklus *ON*

Pada siklus kedua, yaitu ketika MOSFET berada dalam kondisi *OFF*, dioda akan berada dalam kondisi *ON*. Dalam keadaan ini, saklar berfungsi sebagai rangkaian terbuka (*open circuit*), sementara dioda menjadi rangkaian tertutup (*short circuit*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Induktor L_i , yang sebelumnya berada dalam fase pengisian (*charging*), akan memasuki fase pengosongan muatan (*discharging*). Hal yang sama terjadi pada induktor L_o , yang juga mengalami proses *discharging*. Pada saat ini, kapasitor C_1 berada dalam fase pengisian (*charging*) yang diuplai oleh arus dari induktor L_i [5].

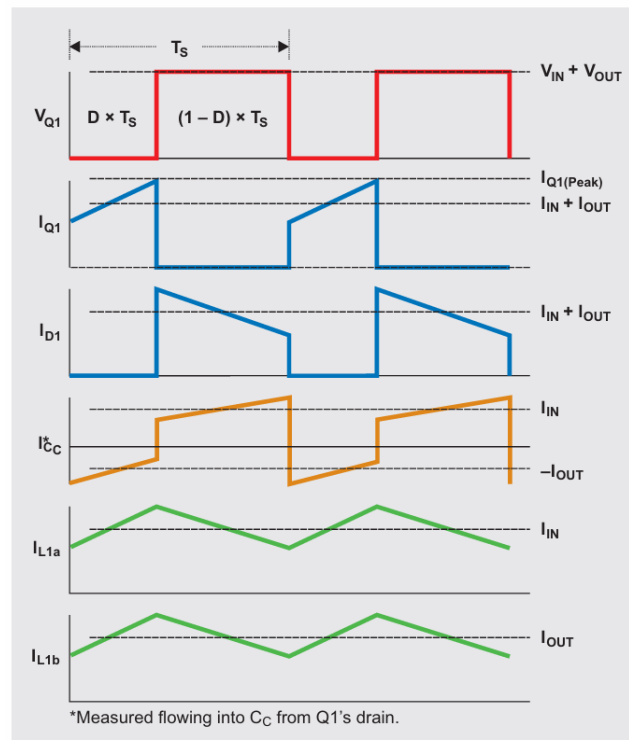


Gambar 2. 3 Zeta Converter Siklus OFF

Untuk mendapatkan nilai tegangan *output* pada Zeta Converter menggunakan persamaan 2.1 [6]:

$$V_{Out} = V_{in} \left(\frac{D}{(1-D)} \right) \quad (2.1)$$

Bentuk gelombang tegangan dan arus ketika MOSFET *ON* dan *OFF* dapat dilihat pada Gambar 2.4 [7]:



Gambar 2.4 Bentuk gelombang tegangan dan arus ketika MOSFET *ON* dan *OFF*

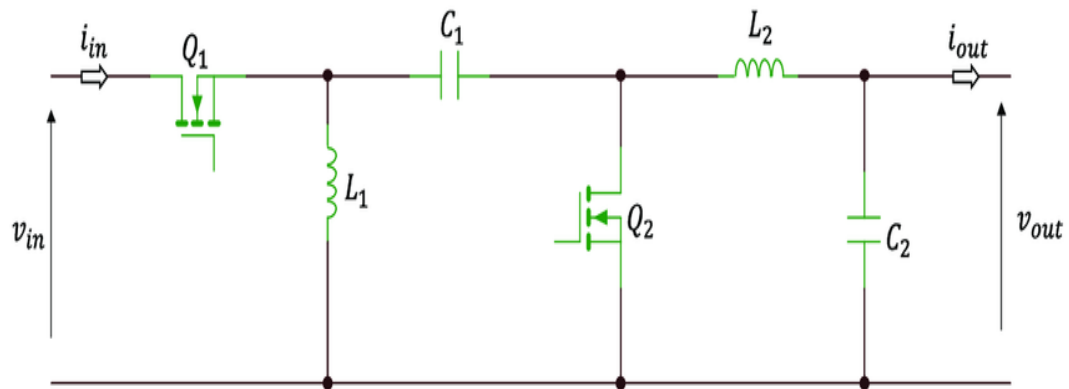
Berdasarkan Gambar 2.4 bentuk gelombang pada prinsip kerja Zeta *converter* dapat dijelaskan melalui analisis komponen arus selama mode konduksi kontinu (CCM). *Converter* ini beroperasi dalam dua fase utama selama setiap periode *switching* T_s .

Pada fase pertama ($D \times T_s$), ketika *switch* utama dalam kondisi *ON*, terlihat bahwa arus induktor Q1 (IQ1) mengalami peningkatan linear dari nilai minimum menuju nilai puncak. Selama periode ini, energi disimpan dalam induktor L1a dan L1b, dimana arus IL1a meningkat secara linear sementara arus IL1b juga mengalami perubahan yang mencerminkan transfer energi ke kapasitor *coupling*. Arus kapasitor Cc (ISc) menunjukkan pola *charging* yang signifikan selama fase ini, mengindikasikan bahwa kapasitor *coupling* sedang menerima energi dari sumber *input*.

Pada fase kedua ($(1-D) \times T_s$), ketika *switch* dalam kondisi *OFF*, pola arus berubah drastis. Arus IQ1 turun ke nol karena *switch* tidak menghantar, sementara arus ID1 pada dioda *output* mulai mengalir, menunjukkan bahwa energi yang tersimpan dalam induktor-induktor sedang ditransfer ke beban melalui dioda. Arus induktor IL1a dan IL1b mengalami penurunan linear selama fase ini, melepaskan energi yang sebelumnya tersimpan. Kapasitor *coupling* (Cc) pada fase ini berperan sebagai sumber energi tambahan, terlihat dari pola arus ISc yang menunjukkan proses *discharging*.

2.1.2 Synchronous Zeta Converter

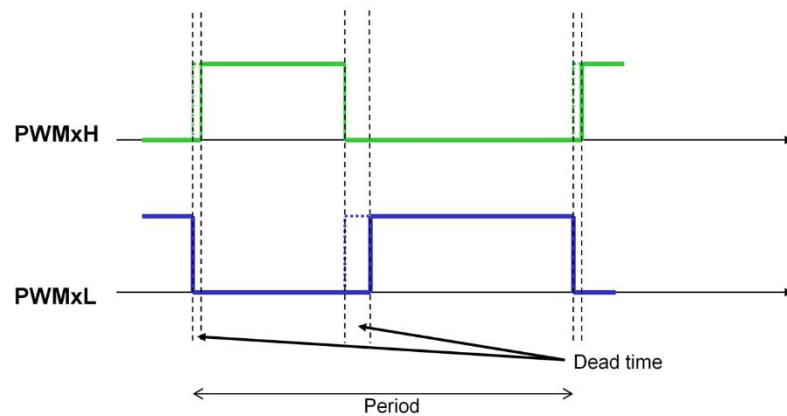
Synchronous Zeta Converter (SZC) adalah pengembangan dari Zeta *Converter* konvensional yang menggunakan MOSFET sebagai pengganti dioda untuk mengurangi kerugian daya akibat tegangan maju (*forward voltage drop*) [8]. *Converter* ini dirancang untuk beroperasi dalam mode *buck* (penurunan tegangan) dan *boost* (peningkatan tegangan), dengan efisiensi tinggi dan perlindungan lebih baik dibandingkan Zeta *Converter* biasa [9]. Berikut bentuk rangkaian *Synchronous Zeta Converter* (SZC) :



Gambar 2. 5 *Synchronous Zeta Converter (SZC)*

MOSFET S1 berperan sebagai *High-side switch* dan MOSFET S2 sebagai *Low-side switch*. Saat MOSFET High-side ‘ON’, maka MOSFET Low-side akan ‘OFF’ dan sebaliknya. Kedua MOSFET ini tidak boleh hidup pada waktu bersamaan untuk menghindari hubung singkat [8]. Sehingga harus ada *dead-time* atau jeda saat pergantian dalam menghidupkan dan mematikan kedua MOSFET tersebut. *Dead-time* adalah waktu Dimana kedua MOSFET dalam kondisi OFF, *dead-time* memastikan bahwa MOSFET *High-side* benar-benar mati sebelum MOSFET *Low-side* diaktifkan, dan sebaliknya. Hal ini mencegah terjadinya kondisi Dimana keduanya aktif bersamaan, yang dapat menyebabkan kerusakan pada MOSFET atau beban[10].

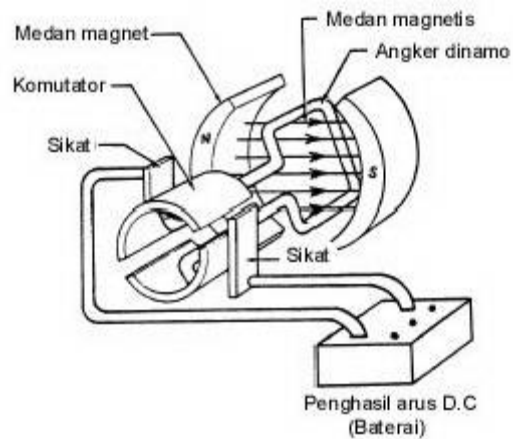
Pada pengaplikasiannya, *dead-time* diatur oleh rangkaian kontrol atau mikrokontroler yang mengendalikan MOSFET. Sinyal kendali kedua MOSFET berupa PWMH dan PWML yang dihasilkan oleh mikrokontroler harus diatur lama *dead-time* dengan baik, karena Semakin lama *dead-time*, maka tegangan *outputnya* akan sedikit berkurang dan semakin singkat *dead-time*, maka semakin besar kemungkinan mengalami *shoot through* [11].



Gambar 2. 6 Pulsa PWM *Dead-Time*

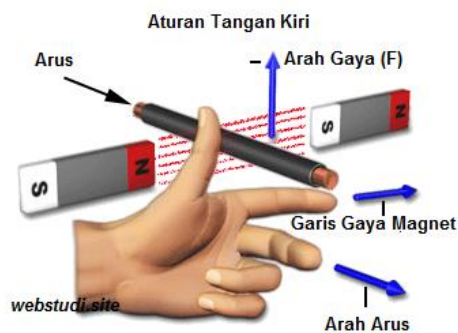
2.2 Motor DC

Motor arus searah (motor DC) adalah mesin yang mengubah energi Listrik arus searah menjadi energi mekanis. Sebuah motor Listrik berfungsi untuk menubah daya Listrik menjadi daya mekanik [12]. Pada prinsip pengoperasiannya, motor arus searah dangata identic dengan generator arus searah. Berdasarkan fisiknya motor arus searah secara umum terdiri atas bagian yang dian dan bagian yang bergerak. Pada bagian yang diam (stator) merupakan tempat diletakkannya kumparan medan yang berfungsi untuk menghasilkan fluks magnet sedangkan pada bagian yang bergerak (rotor) merupakan tempat rangkaian jangkar seperti kumparan jangkar, komutator, dan sikat. Motor arus searah bekerja berdasarkan prinsip interaksi antara fluks dan magnet. Dimana kumparan medan akan menghasilkan fluks magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub Selatan dan kumparan jangkar akan menghasilkan fluks magnet yang melingkar. Interaksi antara kedua fluks. Magnet ini akan menimbulkan suatu gaya sehingga akan menimbulkan momen putar atau torsi [13].



Gambar 2. 7 Motor DC

Prinsip kerja motor DC dapat dijelaskan sebagai berikut: ketika sebuah kawat penghantar yang dialiri arus listrik ditempatkan di antara dua kutub magnet, yaitu kutub utara dan kutub selatan, kawat tersebut akan mengalami gaya Lorentz [14]. Arah gerakan kawat tersebut ditentukan berdasarkan aturan tangan kiri seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Penentuan arah gerak kawat berarus

2.3 Fuzzy Logic

Dalam bahasa Inggris, *Fuzzy* mempunyai arti kabur atau tidak jelas. Jadi, *Fuzzy Logic* adalah logika yang kabur, atau mengandung unsur ketidakpastian [14]. Pada logika biasa, yaitu logika tegas, kita hanya mengenal dua nilai, salah atau benar, 0 atau 1. Sedangkan *Fuzzy Logic* mengenal nilai antara benar dan salah. *Fuzzy Logic*

memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistik, konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat". Kebenaran dalam *Fuzzy Logic* dapat dinyatakan dalam derajat kebenaran yang nilainya antara 0 sampai 1. *Fuzzy system* (sistem kabur) didasari atas konsep himpunan kabur yang memetakan domain *Input* kedalam domain *Output*. Perbedaan mendasar himpunan tegas dengan himpunan kabur adalah nilai *output*-nya. Himpunan tegas hanya memiliki dua nilai *Output* yaitu nol atau satu, sedangkan himpunan kabur memiliki banyak nilai *output* yang dikenal dengan nilai derajat keanggotaannya.

Secara umum kontroler *Fuzzy logic* 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 stasioner.
3. Memenuhi spesifikasi operasional dan kriteria kinerja. Strukturnya sederhana, kokoh dan beroperasi *real time* [15][16].

2.3.1 Metode Inferensi *Fuzzy Logic*

Terdapat beberapa metode hingga saat ini yang sering digunakan dalam penerapan *Fuzzy Logic* sebagai berikut:

1. Metode *Fuzzy Mamdani* merupakan teknik inferensi yang mengandalkan sistem berbasis aturan *Fuzzy* untuk mengonversi *input* menjadi *output* dalam bentuk nilai *Fuzzy*[17]. Prosesnya diawali dengan langkah *Fuzzyfikasi*, yaitu mengubah data numerik menjadi himpunan *Fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Selanjutnya, aturan *Fuzzy* berupa pernyataan *IF-THEN* digunakan untuk menghubungkan *input* dengan *output* dalam bentuk himpunan *Fuzzy*. Hasil dari proses inferensi adalah beberapa himpunan *Fuzzy* yang merepresentasikan kemungkinan *output*. Proses *defuzzyfikasi* kemudian dilakukan untuk mengubah *output Fuzzy* tersebut menjadi nilai konkret,

dengan metode centroid sering digunakan untuk menentukan nilai rata-rata himpunan *Fuzzy*. Metode Mamdani terkenal karena kemampuannya menangani sistem yang kompleks serta mendukung penggunaan aturan berbasis pengetahuan yang mudah dipahami.

2. Metode *Fuzzy* Sugeno adalah pendekatan inferensi yang menghasilkan *output* berupa fungsi matematika linier atau konstan berdasarkan masukan. Teknik ini memanfaatkan aturan *Fuzzy IF-THEN*, di mana bagian *THEN* direpresentasikan oleh fungsi matematika yang berkaitan langsung dengan variabel masukan. Proses dimulai dengan *Fuzzyfikasi*, yaitu mengonversi masukan menjadi nilai *Fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Selanjutnya, aturan *Fuzzy* diterapkan, menghasilkan *output* berupa fungsi linier atau konstan untuk setiap aturan[18][19]. *Output* dari tiap aturan tersebut kemudian diagregasi menggunakan bobot tertentu untuk mendapatkan hasil akhir. Metode Sugeno dikenal akan keakuratannya dalam menghasilkan hasil yang presisi serta kecepatan prosesnya, sehingga sering digunakan pada sistem kendali otomatis dan dinamis yang membutuhkan respons yang sangat tepat.
3. Metode *Fuzzy* Tsukamoto adalah teknik inferensi yang menghasilkan *output Fuzzy* dalam bentuk nilai-nilai berbeda, yang diperoleh dari fungsi keanggotaan monotonik. Proses ini diawali dengan *Fuzzyfikasi*, yaitu mengubah masukan numerik menjadi nilai *Fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan[20]. Pada setiap aturan *Fuzzy*, *output* dihasilkan sebagai nilai *Fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang bersifat monoton meningkat atau menurun. Dalam proses inferensi, aturan *Fuzzy* diterapkan, dan untuk setiap aturan, *output* dihitung sebagai nilai berbeda yang sesuai dengan derajat keanggotaan dari masukan. *Output* dari semua aturan kemudian dikombinasikan untuk menghasilkan hasil akhir yang konkret melalui proses *deFuzzyfikasi*. Metode Tsukamoto sering diterapkan dalam sistem kendali yang membutuhkan respons linier sederhana dan interpretasi langsung untuk mengubah *output* yang ambigu menjadi nilai yang jelas dan terdefinisi dengan baik.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Dalam melakukan penelitian ini, pemilihan waktu dan tempat penelitian sebagai berikut:

1. Tempat Penelitian

Pembuatan alat dan pengujian untuk pengambilan data pada penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Teknik Elektro Universitas Lampung.

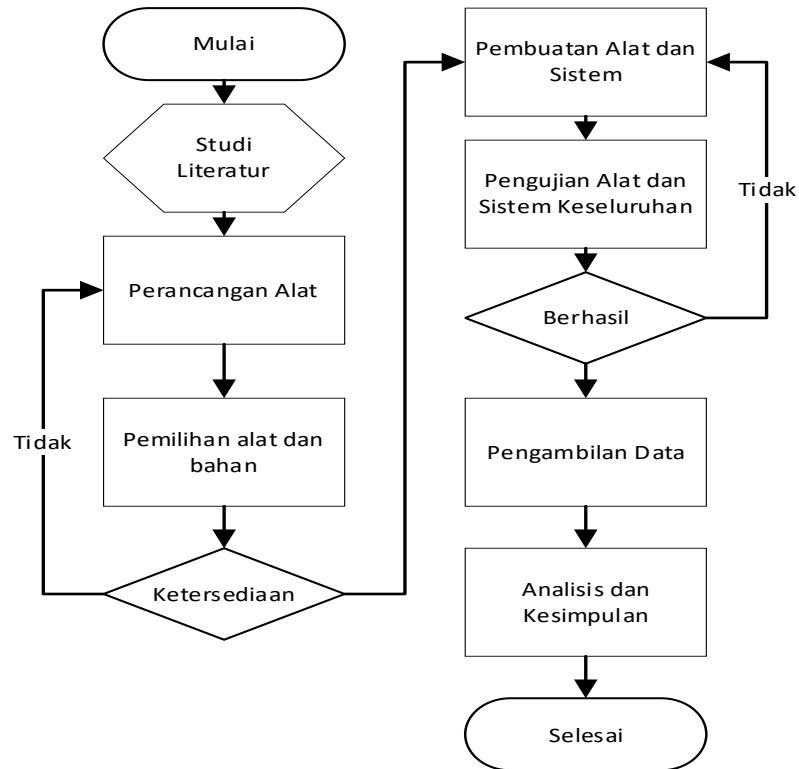
2. Waktu Penelitian Penelitian ini dijadwalkan dilakukan mulai dari mulai Desember 2024 hingga Juni 2025 seperti yang terlihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

Agenda	Bulan						
	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
Studi Literatur							
Penulisan Proposal							
Seminar Proposal							
Simulasi Rangkaian							
Pembuatan Skematik Rangkaian							
Pembelian Material							
Pelaksanaan Penelitian							
Penulisan Laporan Akhir							
Seminar Hasil Penelitian							
Sidang Akhir							

3.2 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penyelesaian penelitian ini di rangkum dalam diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.1:

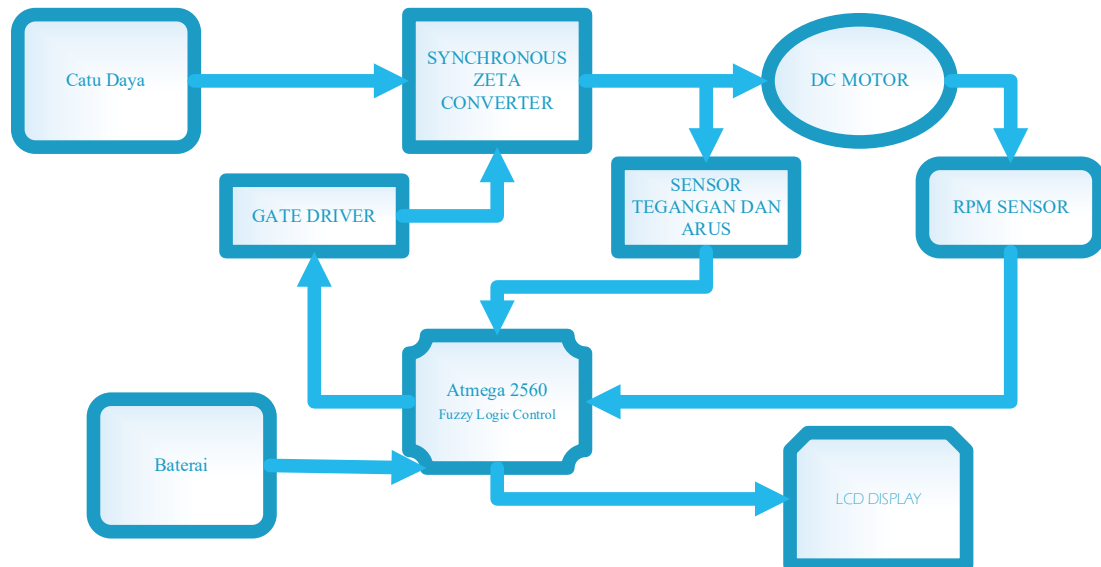


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian diatas menjelaskan tahapan – tahapan yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari melakukan studi literatur , melakukan perancangan model sistem yang akan dibuat seperti perancangan model *Synchronous Zeta Converter* (SZC). dimana model SZC dirancang pada software seperti matlab dan qspice dengan *input converter* sebesar 24V diharapkan mampu menghasilkan *output* hingga 220V. Kemudian dilakukan perancangan model *gate driver*, dan perancangan model rangkaian sensor yang akan digunakan , selanjutnya pemilihan alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini, setelah itu Langkah selanjutnya yaitu melakukan perancangan alat dan *system* yang akan dibuat, melakukan pengujian alat dan bahan sistem secara keseluruhan, melakukan pengambilan data, melakukan analisis data yang telah didapatkan dan membuat kesimpulan.

3.3 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem dari penelitian ini terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok ini menunjukkan perancangan sistem pengendalian motor DC menggunakan SZC dengan *Fuzzy Logic*. Sistem dimulai dari catu daya dengan *Input* sebesar 24V yang dialirkan ke SZC. *Converter* ini berfungsi untuk menaikkan tegangan hingga 220V dengan daya *output* mencapai 200W. Tegangan *output* diatur melalui pengendalian *duty cycle*, yang sinyal PWM-nya dikontrol oleh *gate driver*. Motor DC sebagai beban utama dihubungkan ke *converter* dan dilengkapi dengan sensor tegangan dan arus untuk memantau kondisi kelistrikan secara real-time. Selain itu, kecepatan motor juga diawasi melalui sensor RPM. Data dari sensor tegangan, arus, dan RPM dikirim ke atmega 2560 yang bertindak sebagai pusat kendali sistem menggunakan logika *Fuzzy logic*. Logika ini membantu mengatur *duty cycle* agar tegangan dan daya *output* tetap stabil, serta menjaga performa motor sesuai target. Informasi hasil pengukuran sistem, seperti tegangan, arus, dan kecepatan motor, ditampilkan melalui LCD untuk memudahkan pemantauan.

3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dibagi menjadi dua bagian sebagai berikut:

3.4.1 Perangkat Keras

Adapun perangkat keras yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Motor DC.
2. *Power Supply*
3. Arduino Mega 2560
4. Rangkaian *Synchronous Zeta Converter*
5. Rangkaian *Gate Driver*
6. Sensor Tegangan
7. Sensor arus ACS712
8. Modul Sensor Kecepatan LM393
9. Laptop Acer
10. LCD 16×2

3.4.2 Perangkat lunak

Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah sebagai berikut:

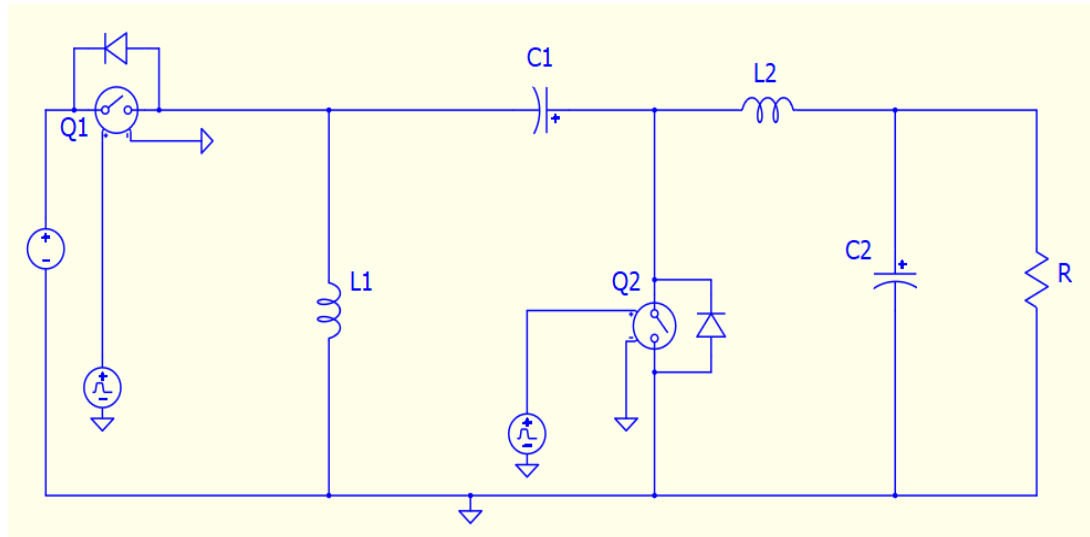
1. Arduino IDE, untuk pembuatan program yang dimasukkan kedalam mikrokontroller.
2. Matlab Simulink, untuk mensimulasikan rangkaian
3. EasyEDA, untuk membuat *layout* PCB
4. *Microsoft Office* 2021

3.5 Perancangan Alat dan Sistem

Dalam tahapan perancangan alat, terdapat beberapa tahapan yang akan dilakukan yakni sebagai berikut:

3.5.1 Perancangan *Synchronous Zeta Converter*

Bentuk rangkaian Perancangan *Synchronous Zeta Converter* seperti terlihat pada Gambar 3.3



Gambar 3. 3 *Synchronous Zeta Converter*

Adapun parameter yang di tetapkan pada rangkaian tersebut adalah seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Parameter Rangkaian *Synchronous Zeta Converter*

PARAMETER	NILAI
Tegangan Masukan (V_{in})	24 Volt
Tegangan <i>Output</i> (V_{out})	220 Volt
Daya	200 Watt
<i>Arus Output</i>	0.9 A
Frekuensi Switching	50 kHz

Dalam menentukan nilai komponen pada SZC dimulai dari menentukan nilai frekuensi *switching* MOSFET, kemudian menentukan nilai *duty cycle* adalah sebagai berikut:

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

Untuk menentukan nilai dari komponen induktor L_1 yang digunakan menggunakan persamaan berikut:

$$L_1 \geq \frac{D \times V_{in}}{\Delta i L f_s} \quad (3.2)$$

Dalam perancangan SZC, *ripple* arus induktor yang digunakan pada L_1 sebesar 10% dari arus *input*. Persamaan untuk menentukan *ripple* arus menggunakan persamaan :

$$\Delta IL = 10\% \times I_{in} \quad (3.3)$$

Selanjutnya menentukan nilai inductor L_2 dengan persamaan,

$$L_2 \geq \frac{D \times V_{in}}{\Delta i L f_s} \quad (3.4)$$

Ripple arus pada L_2 diperoleh dari 10% arus *outputnya*, karena arus induktor L_2 memiliki nilai yang sama dengan arus *outputnya*. Maka digunakan persamaan:

$$\Delta IL = 10\% \times I_o \quad (3.5)$$

Kemudian, untuk menentukan nilai kapasitor C_1 yang digunakan, menggunakan persamaan berikut:

$$C_1 \geq \frac{V_o \times D}{\Delta VC \cdot R \cdot f_s} \quad (3.6)$$

Untuk menentukan ΔVC pada C_1 digunakan persamaan:

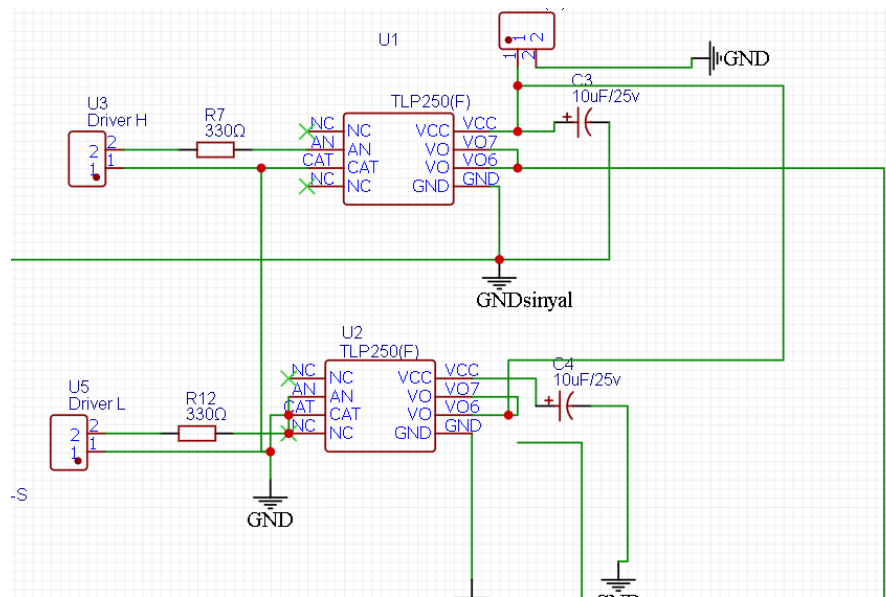
$$\Delta VC \geq 1\% \times V_o \quad (3.7)$$

Kemudian, untuk menentukan nilai kapasitor C_2 yang digunakan, menggunakan persamaan berikut:

$$C_2 \geq \frac{1 - D}{8 \cdot L_2 f_s^2 \frac{\Delta V_o}{V_o}} \quad (3.8)$$

3.5.2 Perancangan *Gate Driver*

Pada penelitian ini menggunakan rangkaian *gate driver* sebagai penguat sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler seperti pada Gambar 3.4. , dimana pada penelitian ini menggunakan dua TLP250 sebagai penguat sinyal PWM *High* dan PWM *Low*



Gambar 3. 4 TLP250

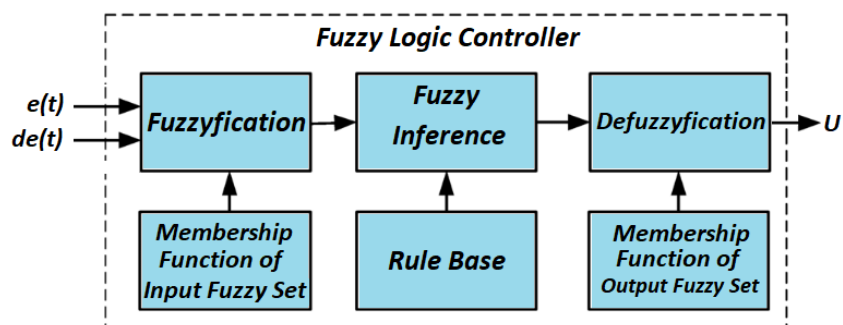
3.5.3 Perancangan *Fuzzy Logic Control*

Penelitian ini menerapkan metode *Fuzzy logic Control* berbasis mamdani, salah satu pendekatan *Fuzzy* yang paling umum digunakan karena kemiripannya dengan cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan. Tahap awal dimulai dengan menentukan rentang nilai *setpoint* dan rentang nilai aktual. Setelah itu, dilakukan perancangan *Fuzzy logic control* menggunakan matlab. Proses perancangan ini melibatkan beberapa tahap utama:

1. *Fuzzyfikasi*: Tahap ini mengubah *input crisp* (nilai nyata) menjadi himpunan *Fuzzy* dengan menentukan *membership function* untuk setiap variabel *input* dan *output*. Pada metode Mamdani, bentuk *membership function* yang umum digunakan adalah segitiga, trapesium, atau Gaussian.

2. Inferensi (Penarikan Kesimpulan): Proses ini melibatkan penyusunan *rule base* dalam bentuk "*IF-THEN*" yang menggambarkan hubungan antara *input* dan *output*. Metode Mamdani menggunakan operasi *min* (untuk *AND*) atau *max* (untuk *OR*) dalam mengevaluasi aturan, kemudian menggabungkan hasilnya menggunakan operasi *max* (*aggregation*).
3. *DeFuzzyfikasi*: Tahap akhir mengonversi hasil *Fuzzy* dari proses inferensi menjadi nilai *crisp* yang dapat digunakan sebagai kontrol.

Urutan tahapan dalam *Fuzzy Logic Control* dapat dilihat secara jelas pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 5 Tahapan *Fuzzy Logic Control*.

3.5.4 Pengujian Sistem

Pengujian sistem yang dilakukan adalah pengujian respon *Fuzzy Logic* terhadap perubahan *setpoint* motor pada SZC. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan kesesuaian kecepatan aktual motor dengan *setpoint* yang diberikan dan juga kestabilan sistem ketika terjadi perubahan *setpoint*. Dalam pengujian ini, kecepatan aktual motor diukur secara langsung dan dipantau menggunakan sensor. *Fuzzy Logic* berperan dalam mengatur *duty cycle* PWM berdasarkan perbedaan antara kecepatan aktual dan *setpoint*.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dihasilkan pada penelitian Rancang Bangun *Synchronous ZETA Converter* Sebagai Pengendali Kecepatan Motor DC Menggunakan *Fuzzy Logic* adalah sebagai berikut:

1. *Synchronous Zeta Converter* berhasil dirancang dengan spesifikasi *input* 24V dan *output* 220V (200W), menggunakan komponen seperti induktor L_1 (4800 μ H), L_2 (550 μ H), kapasitor C_1 (10 μ F), kapasitor C_2 (12 μ F), dan MOSFET IRFP250N. *Converter* ini mampu menghasilkan tegangan *output* yang stabil untuk menggerakkan motor DC shunt 100W. Hasil pengujian menunjukkan *converter* dapat beroperasi pada frekuensi *switching* 50 kHz dengan respons cepat terhadap perubahan *duty cycle* yang dikendalikan oleh *Fuzzy logic*.
2. Sistem kontrol berbasis *Fuzzy Logic* dengan 49 aturan yang didasarkan pada *error* dan *delta error* terbukti efektif dalam mengatur kecepatan motor DC pada rentang 800-1400 RPM. Hasil pengujian menunjukkan performa sistem yang sangat baik dengan *overshoot* rendah (<5%), *rise time* 1-2 detik, dan *settling time* 2-4 detik, dan ketika dilakukan pengujian respon sistem dalam keadaan dinamis dari 800RPM ke 1200 RPM diperoleh *rise time* selama 1.7 detik dengan *settling time* 3 detik. Kemudian, ketika *setpoint* diubah ke 1000 RPM diperoleh *rise time* selama 1.2 detik dan *settling time* selama 2 detik, hal ini menunjukkan bahwa pengendali *Fuzzy Logic* mampu menjaga kecepatan motor agar tetap stabil dan sesuai dengan yang diinginkan, bahkan saat keadaan sistem dinamis.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian yang telah dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penambahan penggunaan *Internet Of Things* dalam hal pengendalian dan monitoring. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, parameter seperti kecepatan motor, arus, dan tegangan dapat dipantau secara *real-time* melalui antarmuka berbasis web atau aplikasi mobile. Selain itu, IoT memungkinkan pengguna untuk mengatur *setpoint* dan menerima notifikasi jika terjadi gangguan secara jarak jauh.
2. Sistem kontrol yang dapat ditingkatkan dengan penggunaan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk meningkatkan respons dan akurasi sistem lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Umam, I. Winarno, and D. Rahmatullah, "Rancang Bangun Dan Monitoring Zeta Converter Sebagai Penstabil Tegangan Dengan Metode Modified Perturb & Observe (Po) Berbasis Internet of Thing (Iot)," *Pros. SNST ke-10 Tahun 2019*, pp. 19–24, 2019.
- [2] H. Sarkawi and Y. Ohta, "The DC-DC Zeta Converter Hybrid Control Operating in Discontinuous Conduction Mode," *CCTA 2019 - 3rd IEEE Conf. Control Technol. Appl.*, pp. 112–117, 2019, doi: 10.1109/CCTA.2019.8920515.
- [3] A. Azis, I. Sudiharto, and O. Qudsi, "Design and Implementation of Zeta Converter for Solar Charger using *Fuzzy* Logic Controller," pp. 733–739, 2023, doi: 10.5220/0010952400003260.
- [4] F. S. Azad, G. Sarowar, and I. Ahmed, "Development of single-phase single switch AC-DC Zeta converter for improved power quality," *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 97, no. 7, pp. 110–115, 2021, doi: 10.15199/48.2021.07.22.
- [5] M. R. K. Shagor, S. R. Sami, M. M. Nishat, F. Faisal, M. S. Zaman, and Z. Ahmed, "Studying the Applicability of Swarm Intelligence in Designing Optimized PI Controller for DC-DC Zeta Converter: A MATLAB-Based Approach," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/5816393.
- [6] S. Muthubalaji, G. Devadasu, S. Srinivasan, and N. Soundiraraj, "Development and validation of enhanced *Fuzzy* logic controller and *boost* converter topologies for a single phase grid system," *Electr. Eng. Electromechanics*, vol. 2022, no. 5, pp. 60–66, 2022, doi: 10.20998/2074-272X.2022.5.10.
- [7] J. Falin, "Designing DC/DC Converters based on ZETA Topology," *Analog Appl. J. Texas Instruments Inc.*, vol. 2Q, pp. 16–21, 2010.
- [8] H. Zomorodi and E. Nazari, "Design and Simulation of Synchronous *Buck* Converter in Comparison with Regular *Buck* Converter," *Int. J. Robot. Control Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 79–86, 2022, doi: 10.31763/ijrcs.v2i1.538.
- [9] J. A. M. da Silva, G. S. Deaecto, and T. A. D. S. Barros, "Analysis and Design Aspects of Min-Type Switching Control Strategies for Synchronous *Buck-Boost* Converter," *Energies*, vol. 15, no. 7, 2022, doi: 10.3390/en15072302.

- [10] F. Fabianto, S. Suhariningsih, and R. P. Eviningsih, "Multiple *Output Buck Converter (SIMO)* Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbasis *Fuzzy Logic Control*," *J. EECCIS (Electrics, Electron. Commun. Control. Informatics, Syst.*, vol. 16, no. 1, pp. 24–29, 2022, doi: 10.21776/jeeccis.v16i1.680.
- [11] A. Barrera, "Delay and Dead Time in Integrated MOSFET Drivers," *Texas Instruments*, no. September, pp. 1–11, 2021, [Online]. Available: www.ti.com
- [12] C. H. B. Apribowo, M. Ahmad, and H. Maghfiroh, "*Fuzzy Logic Controller and Its Application in Brushless DC Motor (BLDC) in Electric Vehicle - A Review*," *J. Electr. Electron. Information, Commun. Technol.*, vol. 3, no. 1, p. 35, 2021, doi: 10.20961/jeeict.3.1.50651.
- [13] B. Pattanaik, B. Barani Sundaram, M. K. Mishra, D. Thirumoorthy, and U. Rastogi, "Industrial Speed Control of im Based Model Predictive Controller Using Zeta Converter," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1964, no. 6, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1964/6/062075.
- [14] J. D. Gotz *et al.*, "Design of a Takagi–Sugeno *Fuzzy* Exact Modeling of a *Buck–Boost Converter*," *Designs*, vol. 7, no. 3, pp. 1–15, 2023, doi: 10.3390/designs7030063.
- [15] R. K. Subroto, L. Ardhenta, R. N. Hasanah, and K. Sasmino, "*Fuzzy* logic-based tuning of PID controller for zeta converter regulation," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1595, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1595/1/012035.
- [16] C. R. Harahap, F. X. A. Setyawan, and D. Budiati, "Speed control of induction motor using *Fuzzy* logic based on internet of things," *Int. J. Appl. Power Eng.*, vol. 14, no. 2, p. 488, 2025, doi: 10.11591/ijape.v14.i2.pp488-497.
- [17] A. T. Nugraha and R. P. Eviningsih, "ZETA Converter as a Voltage Stabilizer with *Fuzzy Logic Controller* Method in The Pico Hydro Power Plant," *Indones. J. Electron. Electromed. Eng. Med. Informatics*, vol. 4, no. 3, pp. 131–137, 2022, doi: 10.35882/ijeeemi.v4i3.237.
- [18] F. D. Murdianto, I. Sudiharto, and E. Wulandari, "Performance Evaluation Zeta Converter Using PI Controller for Energy Management in DC Nanogrid Isolated *System*," *INTEK J. Penelit.*, vol. 8, no. 1, pp. 37–42, 2021, doi: 10.31963/intek.v8i1.2651.
- [19] Masjudin, Alimuddin, S. N. Aisah, and R. Wiryadinata, "DC Motor Speed Control Based on *Fuzzy* Adaptive with *Fuzzy* Model Reference Learning Control (FMRLC) Algorithm," *Proceeding - 2020 2nd Int. Conf. Ind. Electr. Electron. ICIEE 2020*, pp. 79–83, 2020, doi: 10.1109/ICIEE49813.2020.9276771.
- [20] A. I. Yustikasari, E. Sunarno, and P. A. Mahadi Putra, "Desain dan Simulasi *Buck Converter* Dengan Kontrol Logika *Fuzzy* untuk Pengisian Baterai," *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.*, vol. 8,

no. 2, pp. 59–64, 2021, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v8i2.2389.