

**PENYEIMBANGAN BEBAN DAN ANALISIS RUGI-RUGI DAYA
TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN METODE FUZZY
MAMDANI DI UIN SUSKA RIAU**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Prodi
Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

SYAHRULLAH
11950511626

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

2026

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

PENYEIMBANGAN BEBAN DAN ANALISIS RUGI-RUGI DAYA TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI DI UIN SUSKA RIAU

TUGAS AKHIR

Oleh :

SYAHRULLAH
11950511626

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 6 Januari 2026

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Dr. Liliana, S.T., M.Eng
NIP.19781012 200312 2 004

Pembimbing

Dr. Liliana, S.T., M.Eng
NIP.19781012 200312 2 004

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

State Islamic University
Sultan Syarif Kasim Riau

LEMBAR PENGESAHAN

BENYEIMBANGAN BEBAN DAN ANALISIS RUGI-RUGI DAYA TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI DI UIN SUSKA RIAU

TUGAS AKHIR

Oleh :

SYAHRULLAH

11950511626

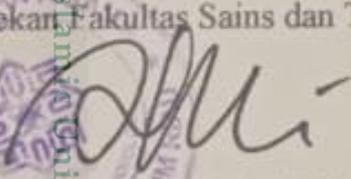
Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau di Pekanbaru, pada tanggal 06 Januari 2026

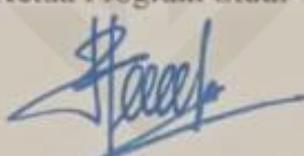
Pekanbaru, 06 Januari 2026

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Program Studi Teknik Elektro

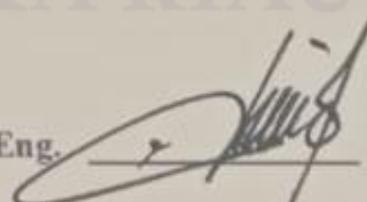

Dr. Yuslenita Muda, S.Si., M.Sc

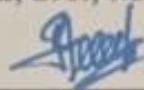

Dr. Liliana, S.T., M.Eng

NIP. 0770103 200710 2 001

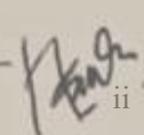
NIP. 19781012 200312 2 004

Dewan Penguji :

Ketua : Prof. Dr. Teddy Purnamirza, S.T., M.Eng. 

Sekretaris : Dr. Liliana, S.T., M.Eng. 

Anggota I : Dr. Ir. Zulfatri Aini, S.T., M.T., Ipp. 

Anggota II : Nanda Putri Miefthawati, B.Sc., M.Sc., Ciiqa. 

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Syahrullah
NIM : 11950511626
Tempat/Tgl. Lahir : Kuala Getek, 17 Juni 2001
Fakultas : Sains dan Teknologi
Prodi : Teknik Elektro
Judul Artikel :

**“PENYEIMBANGAN BEBAN DAN ANALISIS RUGI-RUGI DAYA
TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI DI UIN
SUSKA RIAU”**

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Penulis Artikel dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada Karya Tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu Artikel saya ini sah, saya nyatakan bebas dari plagiasi.
4. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam Artikel saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 23 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,



Syahrullah
NIM. 11950511626

UIN SUSKA RIAU

HALAMAN PERSEMBAHAN



Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur yang mendalam karya sederhana ini kupersembahkan sebagai bukti cinta dan ketekunan. Segala puji syukur hanya milik Allah SWT Rabb semesta alam, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan kekuatan tak terhingga di setiap langkah perjuangan akademik ini. Keyakinan akan janji-Mu,

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan" (QS. Al-Insyirah: 5-6)

Kupersembahkan karya ini kepada kedua orang tuaku, Bapak dan Ibu, yang tak pernah lelah menjadi motivator terbesar, pemberi doa terpanjang, dan sumber kasih sayang yang tak pernah kering. Kalian adalah pondasi dan alasan mengapa perjalanan ini harus diselesaikan. Kupersembahkan pula kepada saudara-saudaraku terkasih, yang menjadi support system tak tergantikan, rekan tawa, dan penguat semangat di setiap fase kehidupan. Kupersembahkan kepada segenap Dosen dan Pembimbing yang telah mengajarkan bahwa

*"Pendidikan bukanlah sekadar mengisi wadah, melainkan menyalakan api."
(mengadaptasi W.B. Yeats).*

Terima kasih atas ilmu dan bimbingan yang mencerahkan. Serta kepada seluruh sahabat dan teman seperjuangan di Teknik Elektro UIN Suska Riau. Terima kasih atas dukungan, canda, dan semangat kolektif yang membuat setiap tantangan terasa lebih ringan. Kalian adalah saksi dan bagian dari pencapaian ini.

"Kesuksesan adalah hasil dari kerja keras, ketekunan, pembelajaran, pengorbanan, dan yang paling penting, cinta akan apa yang sedang atau akan kamu lakukan." - Pelé

|SYAHRULLAH|

**PENYEIMBANGAN BEBAN DAN ANALISIS RUGI-RUGI DAYA
TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN METODE FUZZY
MAMDANI DI UIN SUSKA RIAU**

SYAHRULLAH

11950511626

Tanggal Sidang : 6 Januari 2026

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl.Soebrantas No.155 Pekanbaru

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi merupakan permasalahan utama dalam sistem tenaga listrik yang menyebabkan Munculnya arus pada kawat netral dan meningkatkan rugi-rugi daya *loss*. Kondisi ini ditemukan secara nyata pada infrastruktur kelistrikan di lingkungan kampus UIN Suska Riau, di mana pertumbuhan beban dan penambahan fasilitas kampus yang tidak merata menjadi faktor utama penyebab pembagian beban antar fasa menjadi tidak proporsional. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penyeimbangan beban dan menganalisis rugi-rugi daya pada transformator distribusi di lingkungan UIN Suska Riau dengan menerapkan metode Fuzzy Logic tipe Mamdani. Data beban diperoleh melalui pengukuran langsung pada panel distribusi. Hasil analisis sebelum perbaikan menunjukkan tingkat ketidakseimbangan beban yang signifikan, yakni rata-rata sebesar 23%, yang berimplikasi pada munculnya arus netral sebesar 61,8 A dan rugi-rugi daya total mencapai 1.458,9 Watt. Melalui simulasi penyeimbangan menggunakan metode Fuzzy Mamdani, dilakukan reklasifikasi beban untuk meminimalkan antar fasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan penyeimbangan, tingkat ketidakseimbangan menurun menjadi 4% dan rugi-rugi daya akibat arus netral dapat secara optimal menjadi 230,1 Watt. Dengan demikian, penerapan metode Fuzzy Mamdani efektif dalam meningkatkan transformator dan menjaga kualitas penyaluran energi listrik di UIN Suska Riau.

Kata Kunci: Ketidakseimbangan Beban, Rugi-rugi Daya, Transformator, Fuzzy Mamdani, Arus Netral

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LOAD BALANCING AND POWER LOSS ANALYSIS OF TRANSFORMERS USING THE FUZZY MAMDANI METHOD AT UIN SUSKA RIAU

SYAHRULLAH

Number Student : 11950511626

Session Date : Januari 6, 2026

*Electrical Engineering Study Program
Faculty of Science and Technology
Sultan Syarif Kasim Riau State Islamic University
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru*

ABSTRACT

Load imbalance in distribution transformers is a major problem in electrical power systems that causes currents to appear in neutral wires and increases power losses. This condition was found to be evident in the electrical infrastructure on the campus of UIN Suska Riau, where uneven load growth and the addition of have become the main factors causing disproportionate load distribution between phases. This study aims to perform load balancing and analyze power losses in distribution transformers in the UIN Suska Riau environment by applying the Mamdani type of Fuzzy Logic method. Load data was obtained through direct measurements on the distribution panel. The analysis results before the improvement showed a significant level of load imbalance, averaging 23%, which resulted in a neutral current of 61.8 A and total power losses of 1,458.9 Watts. Through balancing simulations using the Mamdani Fuzzy Logic method, load reclassification was performed to minimize phase-to-phase deviations. The research results show that after balancing, the imbalance level decreased to 4% and power losses due to neutral current could be optimally reduced to 230.1 Watts. Thus, the application of the Fuzzy Mamdani method is effective in improving transformer efficiency and maintaining the quality of electricity distribution at UIN Suska Riau.

Keywords: Imbalance, Load, Mamdani Fuzzy Logic, Power Losses

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT, Rabb semesta alam, yang dengan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya yang tak terhingga, telah memberikan kemudahan, kesehatan, dan kekuatan bagi penulis. Berkat limpahan nikmat-Nya, penulisan Tugas Akhir dengan judul **“PENYEIMBANGAN BEBAN DAN ANALISIS RUGI-RUGI DAYA TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI DI UIN SUSKA RIAU”** dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Shalawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada junjungan kita, Baginda Rasulullah Muhammad SAW, sosok pemimpin agung dan suri teladan terbaik bagi seluruh umat manusia. Semoga kita semua senantiasa berada dalam syafaat beliau di Hari Akhir kelak. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyelesaian karya ilmiah ini bukanlah usaha tunggal. Ia merupakan hasil dari dukungan, motivasi, dan bimbingan yang tulus dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati dan rasa syukur yang mendalam, penulis menyampaikan penghargaan serta ucapan terima kasih tak terhingga kepada:

1. Allah SWT sumber segala kekuatan yang telah melimpahkan kesehatan dan kesempatan.
2. Kedua orang tua tercinta Ibunda dan Ayahanda atas setiap tetes doa, dukungan moral dan finansial, serta semangat yang tak pernah padam yang menjadi landasan utama keberhasilan ini.
3. Ibu Dr. Liliana, S.T., M.Eng sebagai Dosen Pembimbing yang penuh dedikasi. Terima kasih atas arahan, masukan berharga, serta motivasi nya yang telah membentuk dan menyempurnakan penulisan ini.
4. Bapak Aulia Ulah, S.T., M.Eng Terima kasih yang sedalam-dalamnya atas segala waktu, kebijaksanaan dan kepedulian dalam membimbing perjalanan studi ini dari awal hingga akhir.
5. Segenap Dosen dan Staf Program Studi Teknik Elektro Terimakasih atas ilmu, wawasan, dan bekal akademik yang telah diberikan selama masa perkuliahan.

6 Teman-teman seperjuangan terima kasih atas solidaritas, dukungan, dan suasana persahabatan yang telah menjadi energi positif dalam menuntaskan perjalanan akademik ini.

7 Kepada diri sendiri Terimakasih atas ketekunan, kegigihan dan kemampuan untuk bertahan dalam setiap tantangan hingga karya ini berhasil diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga karya kecil ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi pembaca, menjadi sumbangan berarti bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang instrumentasi dan keandalan sistem.

Pekanbaru, Januari 2026

Penulis

Syahrullah

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR RUMUS.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-3
1.3 Tujuan Penelitian	I-3
1.4 Manfaat Penelitian	I-4
1.5 Batasan Masalah	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Penelitian Terdahulu.....	II-1
2.2 Landasan Teori.....	II-2
2.2.1 Transformator (Trafo)	II-2
2.2.2 Ketidakseimbangan Beban	II-2
2.2.3 Metode Logika <i>Fuzzy</i> Mamdani.....	II-6
2.2.4 <i>Matrix Laboratory</i> (MATLAB)	II-10
2.2.5 Ruang Lingkup Kerja MATLAB	II-10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	III-1
3.2 Tahapan Penelitian	III-2
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	IV-1
4.1 Hasil Perhitungan Ketidaksetimbangan Beban Trafo	IV-1

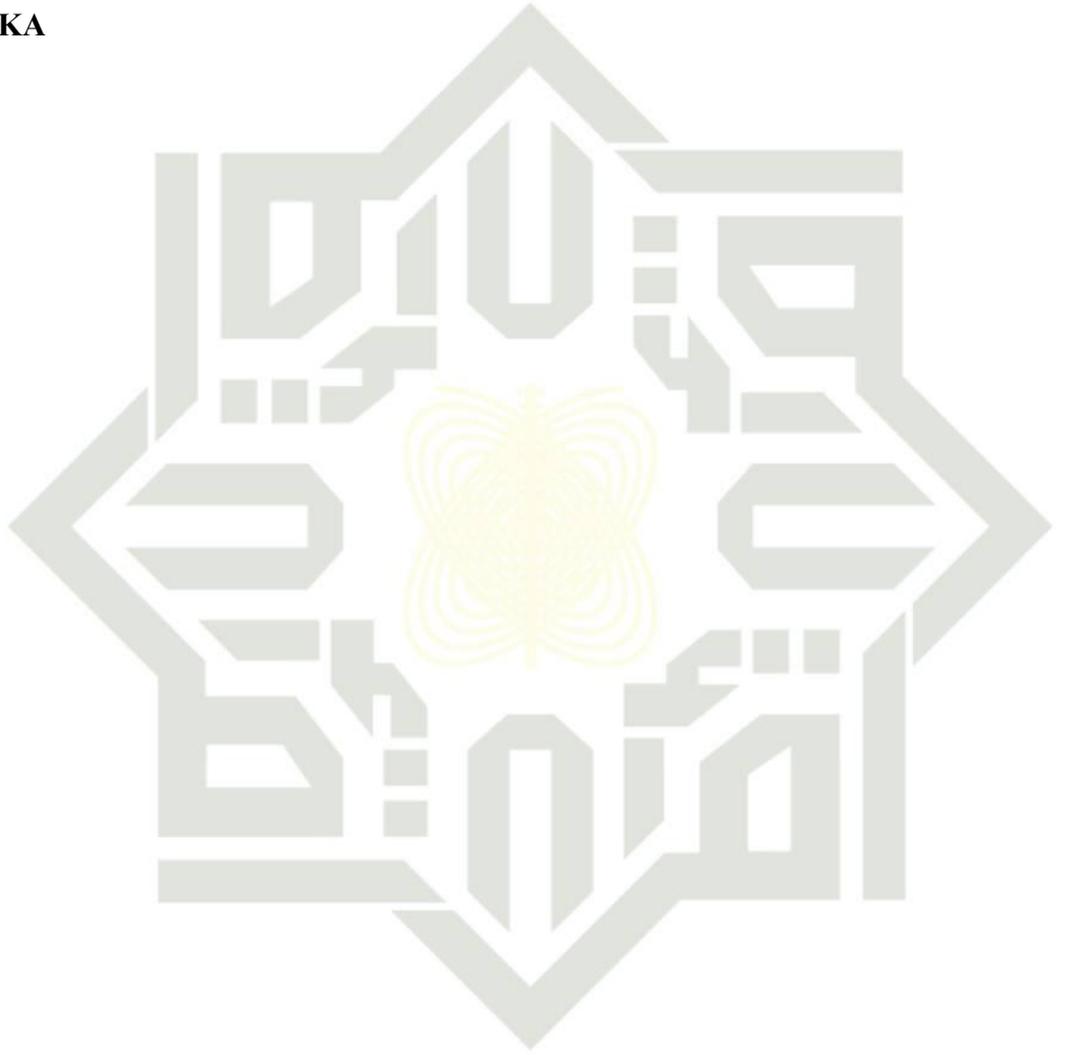
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.2 Penyeimbangan dengan metode fuzzy mamdani dengan menggunakan MATLAB.....	IV-5
4.3 Analisis Ketidaksetimbangan dengan Fuzzy mamdani	IV-11
BAB V PENUTUP	V-1
5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Saran	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR GAMBAR

Gambar

	Halaman
2. 1 Diagram Fasor Sistem Tiga Fasa.....	II-2
2. 2 Diagram Fasor Sistem Tiga Fasa saat Beban Tidak Seimbang.....	II-3
2. 3 Blok Diagram Sederhana Logika Fuzzy.....	II-7
3. 1 <i>Flowchart</i> Penelitian	III-2
4. 1 Tahapan Fuzzifikasi.....	IV-6
4. 2 Penentuan Variabel Output.....	IV-6
4. 3 Penentuan Basis Aturan.....	IV-7
4. 4 Defuzzifikasi.....	IV-7
4. 5 Pengambilan Keputusan Penyeimbangan Beban	IV-8
4. 6 Evaluasi Penyeimbangan.....	IV-8
4. 7 Ketidaksetimbangan Beban Harian Trafo	IV-10
4. 8 Ketidaksetimbangan Beban Puncak Harian Trafo.....	IV-11
4. 9 Perbandingan Ketidaksetimbangan Sebelum dan Sesudah menggunakan Fuzzy Mamdani	IV-13

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
2.1 Koefisien a arus R	II-3
2.2 Koefisien b arus S.....	II-3
2.3 Koefisien c arus T.....	II-3
2.4 Arus beban penuh trafo.....	II-4
2.5 Ketidaksetimbangan beban rata-rata	II-4
2.6 persentase beban trafo	II-4
2.7 Persentase ketidaksetimbangan	II-4
2.8 Rugi-rugi daya	II-5
2.9 Rugi Energi.....	II-5
2.10 Biaya Kerugian energi.....	II-5

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
3. 1	Spesifikasi Trafo Uin Suska Riau.....	III-3
3. 2	Data pembebanan distribusi pada trafo 1000 kVA UIN Suska Riau Hari K 1	III-3
3. 3	Data pembebanan distribusi pada trafo 1000 kVA UIN Suska Riau Hari K 2	III-4
3. 4	Data pembebanan distribusi pada trafo 1000 kVA UIN Suska Riau Hari K 3	III-4
3. 5	Data rata-rata harian trafo 1000 kVA UIN Suska Riau (4–11 Maret 2025).....	III-5
3. 6	Data beban puncak harian pada trafo 1000kVA UIN Suska Riau (4–11 Maret 2025).....	III-5
3. 7	himpunan Fuzzy	III-8
3. 8	Basis Aturan (<i>Rule Base</i>).....	III-7
4. 1	Hasil Perhitungan Rata-rata Harian Trafo dengan MATLAB.....	IV-9
4. 2	Hasil Perhitungan Beban Puncak Harian Pada Trafo dengan MATLAB	IV-10
4. 3	Hasil Perhitungan Ketidaksetimbangan sesudah dan sebelum menggunakan Fuzzy Mamdani.....	IV-12

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Ditindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik saat ini mengalami peningkatan pesat sejalan dengan naiknya kualitas hidup masyarakat serta pesatnya perkembangan teknologi. Listrik telah menjadi kebutuhan dasar yang memiliki peranan penting dalam aktivitas sehari-hari. Oleh karena itu, suatu sistem tenaga listrik dituntut untuk andal dan efisien. Keandalan dan efisiensi ini sangat krusial, terutama pada transformator (trafo) sebagai komponen vital yang berfungsi mentransformasikan tegangan. Permasalahan yang sering terjadi pada trafo adalah ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi daya yang signifikan [1].

Ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi yang disebabkan oleh distribusi beban yang tidak merata pada ketiga fasa sehingga mengakibatkan munculnya arus pada kawat netral. Masalah utama yang sering terjadi pada trafo yaitu ketidaksetimbangan beban dan rugi-rugi daya yang signifikan. Rugi-rugi daya terdiri dari rugi inti dan rugi tembaga secara langsung yang dapat mengurangi efisiensi trafo. Mengingat pentingnya trafo dalam sistem distribusi, analisis dan penyeimbangan beban yang efektif menjadi urgensi utama. [2].

Di lokasi penelitian, yaitu UIN Suska Riau ditemukan bahwa konfigurasi pembebanan pada trafo distribusi sering berubah-ubah dan tidak merata. Perubahan ini menimbulkan masalah utama pada trafo yaitu ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi daya yang signifikan. Masalah ini diperkuat dengan kasus nyata kerusakan trafo 1 MVA pada tahun 2020. Trafo yang beroperasi sejak tahun 2007 ini hanya mampu bertahan selama 13.55 tahun jauh di bawah standar umur pakai yang seharusnya mencapai 20.55 tahun. Kejadian ini tidak hanya mengganggu kegiatan akademik di kampus, tetapi juga merugikan pihak PLN secara finansial karena harus menanggung biaya pergantian unit trafo baru. Kerusakan ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban yang tidak ditangani dengan baik akan memicu arus netral yang tidak terkendali, meningkatkan suhu trafo, mempercepat degradasi isolasi, dan mengurangi umur pakainya secara drastis [3][4].

Ketidakseimbangan beban yang terus memerlukan perhatian khusus karena fluktuasi beban yang dinamis antara jam perkuliahan puncak dan periode sepi. Ketidaksetimbangan ini tidak hanya menyebabkan pemanasan berlebih (*overheating*) pada fasa yang paling terbebani, tetapi juga secara langsung mempercepat degradasi isolasi, yang berdampak pada penurunan umur pakai (*lifetime*) transformator dan mengurangi keandalan pasokan daya ke

gedung-gedung kampus. Oleh karena itu, diperlukan sebuah mekanisme penyeimbang beban yang cerdas, responsif, dan adaptif terhadap perubahan kondisi beban secara real-time[5][6].

Berbagai penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa penyeimbangan beban memiliki dampak signifikan dalam meningkatkan efisiensi sistem. Penelitian yang dilakukan [7] menunjukkan bahwa penyeimbangan beban secara manual dapat mengurangi ketidakseimbangan beban secara drastis dari 40,33% menjadi hanya 3,43%, yang pada gilirannya mengurangi rugi-rugi daya hingga 2,12 kW. Hasil ini menegaskan bahwa langkah penyeimbangan beban meskipun dengan cara konvensional masih sangat efektif dalam mengurangi kerugian dan meningkatkan kualitas listrik bagi konsumen.

Kemudian, efektivitas penyeimbangan beban juga ditinjau dari aspek finansial. Penelitian [8] yang menggunakan simulasi ETAP 19.0.1 menunjukkan bahwa penyeimbangan beban tidak hanya mengurangi rugi-rugi daya dari 10,93% menjadi 3,64%, tetapi juga menghasilkan penghematan biaya operasional hingga sekitar Rp 2.324.172 per bulan. Hal ini memberikan bukti konkret bahwa investasi dalam penyeimbangan beban memberikan manfaat ekonomi yang besar bagi PT. PLN.

Selain itu penelitian dalam upaya otomatisasi penyeimbangan beban juga telah diteliti [9] hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem penyeimbangan otomatis berbasis *Fuzzy Logic* mampu menurunkan ketidakseimbangan beban dari 7,34% menjadi 2,39%, yang sudah memenuhi standar IEC. Penelitian ini mengindikasikan potensi besar dari penerapan sistem cerdas untuk memantau dan mengoreksi ketidakseimbangan beban secara *real-time* tanpa intervensi manual yang berkelanjutan. Penelitian terhadap Penerapan metode *Fuzzy Logic* juga terbukti memberikan hasil yang luar biasa.

Selanjutnya, penelitian [10] berhasil menurunkan ketidakseimbangan beban dari 43,6% menjadi 1,067% menggunakan metode Fuzzy Mamdani yang disimulasikan dengan MATLAB. Penelitian yang dilakukan [11] juga menunjukan penurunan yang mencapai tingkat ketidakseimbangan terendah sebesar 1,6%, jauh di bawah batas standar yang ditetapkan oleh PLN (20%) dan IEC (5%). Hal ini membuktikan bahwa metode Fuzzy Mamdani sangat efektif dalam mengatasi masalah ketidakseimbangan beban yang kompleks.

Berbagai metode konvensional telah digunakan untuk mengatasi masalah ketidakseimbangan beban. Namun, penyeimbangan beban merupakan masalah non-linear yang kompleks dan sulit dipecahkan dengan metode tradisional. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih cerdas dan adaptif, seperti metode *Fuzzy Logic*. Salah satu metode

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Fuzzy Logic yang populer adalah metode Fuzzy Mamdani. Metode Fuzzy Mamdani dipilih karena kemampuannya dalam memodelkan hubungan non-linear dan membuat keputusan berdasarkan aturan-aturan linguistik, meniru cara kerja penalaran manusia dalam menghadapi data yang tidak pasti. Penggunaan metode ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih optimal dalam penyeimbangan beban secara otomatis dan berkelanjutan. [10] [11].

Dalam implementasinya metode *Fuzzy Mamdani* memiliki keunggulan yang terletak pada kemampuannya menghasilkan keluaran yang dapat dipahami secara langsung. Proses inferensi Mamdani terdiri dari empat tahapan utama yaitu Fuzzifikasi, Mesin Inferensi, Komposisi Aturan dan Defuzzifikasi Dengan tahapan ini, Metode *Fuzzy Mamdani* dapat memberikan rekomendasi tindakan penyeimbangan beban secara cerdas dan otomatis berdasarkan kondisi transformator yang terdeteksi [12].

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan dan hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan penggunaan metode *Fuzzy Mamdani* terbukti mampu menurunkan tingkat ketidakseimbangan arus beban secara signifikan dan meminimalkan kerugian daya. Oleh sebab itu, penelitian Tugas Akhir dengan judul “**PENYEIMBANGAN BEBAN DAN ANALISIS RUGI-RUGI DAYA TRAF0 MENGGUNAKAN METODE FUZZY MAMDANI DI UIN SUSKA RIAU**” bertujuan untuk mengaplikasikan metode Fuzzy Mamdani dalam penyeimbangan beban trafo di UIN Suska Riau dan menganalisis pengaruhnya terhadap rugi-rugi daya.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana cara menghitung ketidaksetimbangan beban dan rugi-rugi daya pada transformator 1 MVA untuk mengetahui tingkat ketidaksetimbangan beban?
2. Bagaimana cara melakukan penyeimbangan beban pada trafo menggunakan metode Fuzzy Mamdani?
3. Bagaimana perbandingan ketidaksetimbangan beban serta rugi-rugi daya sebelum dan sesudah dilakukan penyeimbangan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan Penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui dan menganalisis perhitungan ketidaksetimbangan beban dan rugi-rugi daya yang terjadi pada trafo 1 MVA.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1.4 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. Untuk mengetahui bagaimana kinerja Fuzzy Mamdani dalam melakukan penyeimbangan beban pada trafo.
3. Untuk mengetahui tingkat ketidaksetimbangan beban dan rugi-rugi daya yang terjadi sebelum dan sesudah dilakukan proses penyeimbangan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat pada penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif untuk meminimalkan kerugian finansial akibat kerusakan trafo dan menjamin pasokan listrik yang stabil untuk kegiatan akademik di UIN Suska Riau.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang sistem tenaga listrik, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai penyeimbangan beban trafo menggunakan metode *Fuzzy Logic*.
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan bagi pihak terkait, seperti PT. PLN (Persero), untuk mengimplementasikan sistem penyeimbangan beban otomatis guna meningkatkan efisiensi operasional dan kualitas layanan.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah dari penelitian yaitu :

1. Simulasi penyeimbangan beban dan analisis rugi-rugi daya hanya difokuskan pada trafo distribusi tiga fasa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian-penelitian sebelumnya telah memberikan landasan kuat mengenai efektivitas penyeimbangan beban dalam meningkatkan kinerja trafo [7] misalnya, membuktikan bahwa pendekatan manual mampu menurunkan ketidakseimbangan beban secara signifikan, yang berdampak langsung pada pengurangan rugi-rugi daya. Dari perspektif ekonomi [8] menunjukkan bahwa penyeimbangan beban tidak hanya memperbaiki efisiensi teknis, tetapi juga menghasilkan penghematan biaya operasional yang substansial.

Seiring dengan perkembangan teknologi, fokus penelitian beralih ke otomatisasi [9] berhasil mengembangkan sistem penyeimbangan beban otomatis berbasis *Fuzzy Logic* yang mampu menurunkan tingkat ketidakseimbangan hingga memenuhi standar internasional. Hal ini menunjukkan bahwa solusi cerdas dan berkelanjutan sangat mungkin diterapkan untuk mengatasi fluktuasi beban secara real-time.

Dari seluruh pendekatan yang ada, metode *Fuzzy Logic* khususnya Fuzzy Mamdani telah menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan. Studi yang dilakukan [10] ketidakseimbangan beban awal sebesar 18% yang mengakibatkan rugi daya (losses) pada penghantar netral sebesar 1,22 kW. Setelah dilakukan penyeimbangan menggunakan simulasi sistem fuzzy, arus netral berhasil ditekan hingga mendekati nol ampere, yang secara otomatis mereduksi rugi daya tersebut secara drastis. Sementara itu, Penelitian [11] kontibusi spesifik melalui pengembangan nominal aturan fuzzy yang diuji pada tujuh penyulang di PLN Rayon Taman, di mana hasil evaluasi menunjukkan tingkat akurasi rata-rata sistem mencapai 98% dalam mengklasifikasikan status beban (seimbang, kurang seimbang, atau tidak seimbang). Secara terpisah menunjukkan penurunan drastis pada tingkat ketidakseimbangan beban, bahkan mencapai nilai yang jauh di bawah ambang batas yang ditetapkan oleh PLN dan IEC. Pencapaian ini menegaskan bahwa Fuzzy Mamdani adalah metode yang sangat efektif dan andal dalam memecahkan masalah ketidakseimbangan beban yang kompleks.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Transformator (Trafo)

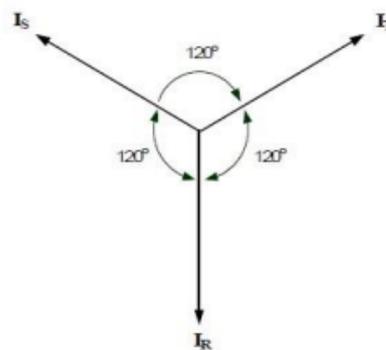
Trafo adalah sebuah perangkat elektromagnetik statis yang memiliki peran krusial dalam sistem tenaga listrik. Fungsi utamanya adalah mengubah nilai tegangan listrik bolak-balik dari satu level ke level lainnya tanpa mengubah frekuensinya, yang memungkinkan penyaluran daya yang efisien dan ekonomis. Komponen inti dari trafo terdiri dari inti besi berlaminasi dan dua kumparan: kumparan primer yang terhubung dengan sumber listrik, dan kumparan sekunder yang menyalurkan daya ke beban. Prinsip kerja trafo didasarkan pada dua hukum dasar elektromagnetisme, yaitu Hukum Ampere dan Hukum Faraday. Ketika arus bolak-balik dialirkan ke kumparan primer, arus tersebut akan menghasilkan medan magnet yang berubah-ubah pada inti besi. Perubahan medan magnet ini, melalui induksi elektromagnetik, akan memicu timbulnya tegangan pada kumparan sekunder. Beda tegangan yang dihasilkan pada kumparan sekunder ini bergantung pada rasio jumlah lilitan antara kumparan primer dan sekunder [13].

2.2.2 Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban merupakan suatu keadaan yang terjadi akibat adanya salah satu atau semua fasa pada trafo yang mengalami pembebanan yang berbeda. Perbedaan dapat dilihat dari besarnya vektor arus dan tegangan dari masing-masing sudut [14].

Suatu pembebanan pada trafo dapat dikatakan dalam keadaan seimbang apabila telah memenuhi beberapa syarat seperti berikut :

1. Ketiga vektor arus terhadap masing-masing fasa (R,S dan T) memiliki nilai yang sama besar.
2. Perbedaan dari ketiga vektor fasa yaitu 120°



Gambar 2. 1 Diagram Fasor Sistem Tiga Fasa

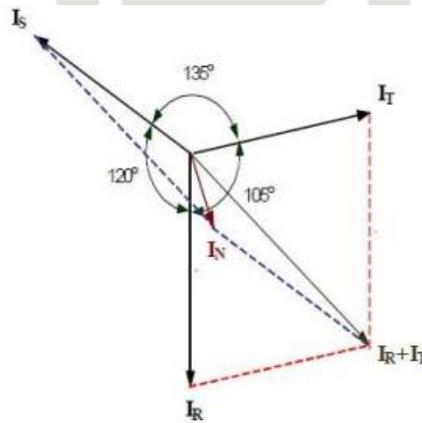
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Gambar 2.1 diatas menunjukkan diagram fasor sistem tiga fasa dalam keadaan seimbang yang dimana ketiga vector arus dari masing-masing fasa memiliki nilai yang sama dan beda sudut fasa yang sama yaitu 180°. Sedangkan untuk pemebanan trafo yang tidak seimbang seperti berikut :

1. Besar arus fasa R,S, dan T sama namun berbeda sudut fasa dengan 120°
2. Beda sudut fasa adalah 120° tetapi besar nilai arus fasa R,S dan T tidak sama.
3. Besar arus fasa R,S dan T tidak sama dan beda sudut fasa tidak sama 120°

Diagram fasor ketika pembebanan trafo tidak seimbang dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut



Gambar 2. 2 Diagram Fasor Sistem Tiga Fasa saat Beban Tidak Seimbang

Jika I merupakan besaran arus fasa dalam penyaluran daya P dalam keadaan seimbang, maka penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan yang tidak seimbang maka besar arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$I_a = a \times I_{rata-rata} \quad \text{maka } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (2.1)$$

$$I_s = b \times I_{rata-rata} \quad \text{maka } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad (2.2)$$

$$I_T = c \times I_{rata-rata} \quad \text{maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (2.3)$$

Dengan I_R , I_S dan I_T berturut-turut yaitu arus pada fasa R,S dan T. Koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana keadaan seimbang besar koefisien a,b dan c adalah 1.

Berdasarkan standar internasional, persentase ketidakseimbangan beban yang diizinkan pada transformator memiliki batasan yang bervariasi. *International Electrotechnical Commission* (IEC) menetapkan batas maksimum sebesar 5%. Sementara

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

tu, standar IEEE std 446-1995 memiliki rentang yang lebih luas, yaitu antara 5% hingga 20%. Di Indonesia, Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) D5 004 – 1: 2012 mengatur bahwa persentase ketidakseimbangan beban yang diizinkan hanya sebesar 2%. Jika nilai ini terlampaui, tindakan penyeimbangan beban harus segera dilakukan. Tujuan utama dari penyeimbangan ini adalah untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi, yang dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem [2]. I_{fl} adalah Arus beban penuh (*Full Load Current*) transformator yang menjadi nilai acuan (nilai nominal) untuk menghitung persentase pembebanan dan persentase ketidakseimbangan beban. Untuk menghitung arus beban penuh trafo dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$I_{fl} = \frac{S}{\sqrt{3}V} \quad (2.4)$$

Keterangan :

I_{fl} = Arus beban penuh trafo (A)

S = Kapasitas daya trafo (VA)

V = Tegangan trafo (V)

Untuk mengukur ketidaksetimbangan beban rata-rata Antara arus fasa R,S dan T dilakukan sebagai berikut :

$$I_{average} = \frac{I_r + I_s + I_t}{3} \quad (2.5)$$

Keterangan :

I_{avg} = Arus rata-rata

I_r = Arus fasa R

I_s = Arus fasa S

I_t = Arus fasa T

Koefisien ketidaksetimbangan terhadap beban dapat di tentukan dengan persamaan (2.1) (2.2) dan (2.3). setelah pengikuran tersebut di dapatkan ketidaksetimbangan, maka perlu dilakukan penyeimbangan dengan melalukan perhitungan berdasarkan persamaan berikut : Menghitung persentase beban trafo

$$\% Pr = \frac{I_{rata-rata}}{I_{fl}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

I_{fl} = Arus beban penuh trafo

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$\%Pr$ = Persentase pembebanan trafo

$I_{rata-rata}$ = Arus rata-rata

Menghitung persentase ketidaksetimbangan :

$$\%Kt = \frac{(|a-1| + |b-1| + |c-1|)}{3} \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan :

$\%Kt$ = Persentase Ketidaksetimbangan Trafo (%)

Menghitung Rugi daya pada trafo :

$$P_{loss} = P_{cu} + P_{core} \quad (2.8)$$

Keterangan :

P_{loss} = rugi daya (W)

P_{cu} = Rugi daya tembaga (W)

P_{core} = Rugi inti besi (W)

Selanjutnya, untuk menghitung rugi energi listrik akibat rugi daya dapat dilakukan dengan persamaan :

$$W_{loss} = P_{loss} \times t \quad (2.9)$$

Keterangan :

W_{loss} = Rugi Energi Listrik (kWh)

P_{loss} = Rugi Daya (watt)

t = waktu (jam)

Kemudian untuk mengetahui kerugian yang terjadi akibat penggunaan energi yaitu :

$$B_{pn} = btl \times W_{loss} \quad (2.10)$$

Keterangan :

B_{pn} = Biaya Kerugian Trafo

btl = tarif biaya energi

P_n = Total energi kerugian daya netral

Arus netral merupakan arus yang mengalir pada penghantar netral akibat ketidakseimbangan arus pada ketiga fasa. Keberadaan arus netral berfungsi sebagai jalur kembali arus dan menjaga kestabilan tegangan fasa-netral pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat.

$$I_n = \sqrt{\left(I_r^2 + I_s^2 + I_t^2 \right) - (I_r \times I_s) - (I_r \times I_t) - (I_s \times I_t)} \quad (2.11)$$

Keterangan :

I_n = Arus Netral Trafo (A)

2.2.3 Metode Logika *Fuzzy* Mamdani

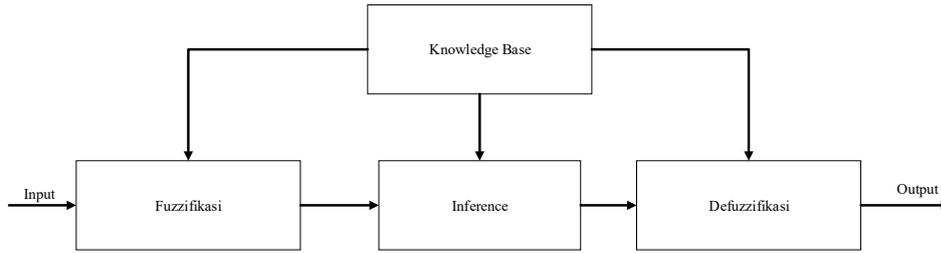
Logika *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1965 oleh Lutfi Zadeh seorang peneliti yang berada di Universitas California di Barkley dalam bidang ilmu computer.

Logika *Fuzzy* didasarkan terhadap pengamatan seorang pembuatan keputusan berdasarkan informasi yang tidak tepat dan non numerik. Model *Fuzzy* merupakan pendekatan matematis yang dirancang untuk merepresentasikan dan memanipulasi informasi yang ambigu atau tidak pasti. Berbeda dengan logika klasik yang hanya mengenal kondisi biner (benar atau salah), model ini memiliki kemampuan unik untuk memahami, mewakili, dan memanfaatkan data yang bersifat samar. Dengan begitu, Model *Fuzzy* memungkinkan analisis yang lebih fleksibel terhadap informasi yang tidak dapat dikategorikan secara tegas [14].

Fuzzy Mamdani atau Max-min adalah suatu metode yang diperkenalkan oleh Ebraim Mamdani pada tahun 1975. Untuk menghasilkan *output* yang baik diperlukan beberapa tahapan seperti berikut :

1. Pembentukan himpunan *Fuzzy* pada Fuzzy Mamdani baik variable input ataupun variable output terbagi menjadi satu atau lebih himpunan *Fuzzy*.
2. Aplikasi Fungsi Implikasi pada metode *Fuzzy* Mamdani ini digunakan untuk Min.
3. Komposisi Aturan pada metode Max adalah solusi himpunan *Fuzzy* yang diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakan modifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR.
4. *Defuzzyfikasi* yaitu langkah untuk mengkonversi nilai *fuzzy* hasil komposisi aturan kedalam sebuah bilangan crisp.

Metode *Fuzzy* Mamdani (Max-Min) ini sangat efektif untuk sistem yang memerlukan *output* yang mudah diinterpretasi dan memberikan hasil yang stabil, menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi dalam analisis data dan sistem kontrol [6]. Pada umumnya, logika *fuzzy* dibangun dari empat elemen utama yaitu fuzzifikasi, *knowledge base*, inferensi dan defuzzifikasi. Struktur hubungan antar komponen tersebut dapat dilihat pada diagram blok sederhana yang ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 2. 3 Blok Diagram Sederhana Logika Fuzzy

Pada tahapan fuzzifikasi, data akan dimasukkan berupa nilai numeric yang dikonversi menjadi variable linguistic fuzzy. Komponen knowledge terdiri atas kumpulan rule base yang menjelaskan hubungan Antara variable linguistik input dan output sesuai dengan tujuan perancangan sistem logika fuzzy. Proses inferensi kemudian memanfaatkan aturan-aturan tersebut untuk menurunkan hubungan Antara input dan output sehingga menghasilkan keluaran dalam bentuk nilai linguistic. Selanjutnya, tahan defuzzifikasi dilakukan untuk mengubah nilai output linguistic menjadi nilai numeric sebagai hasil akhir dari sistem [15].

A. Himpunan Fuzzy

Himpunan Fuzzy merupakan himpunan yang digunakan untuk merepresentasikan situasi dan kondisi dalam suatu sistem yang melibatkan ketidakpastian. Berbeda dengan himpunan tegas yang hanya memiliki nilai keanggotaan 0 atau 1, Himpunan Fuzzy dapat memperluas representasi fungsi karakteristiknya agar melibatkan bilangan real dengan rentang nilai $[0, 1]$ [16]. Himpunan fuzzy memiliki dua ciri utama yaitu :

1. Linguistik yaitu penamaan suatu himpunan yang merepresentasikan kondisi tertentu dengan Bahasa alami, seperti MUDA, PAROBAYA, dan TUA. Sedangkan untuk numierik seperti suatu variabel seperti , 35, 25,45, dan sebagainya.
2. Numerik yaitu Nilai angka yang merefleksikan ukuran dari suatu variabel, contohnya: 40, 25, atau 50.

Dalam fuzzy terdapat beberapa hal yang perlu diketahui yaitu :

1. Variabel Fuzzy adalah Variabel yang menjadi fokus pembahasan dalam sistem Fuzzy, seperti: kecepatan, tegangan, atau temperatur.

2. Himpunan Fuzzy adalah Himpunan yang merepresentasikan keadaan atau kondisi dalam sistem tersebut.

3. Semesta Pembicaraan merupakan keseluruhan nilai real yang diizinkan untuk dioperasikan dalam sistem. Nilai ini harus bertambah secara monoton dan dapat bernilai positif maupun negatif.

B. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Domain yaitu himpunan bagian dari Semesta Pembicaraan, yaitu keseluruhan nilai yang diizinkan untuk dioperasikan dalam suatu Himpunan Fuzzy tertentu. Domain juga dapat bernilai positif atau negatif.

Fungsi Keanggotaan adalah Kurva yang memetakan titik input (nilai tegas/crisp) ke nilai keanggotaan (derajat keanggotaan) yang berada dalam rentang $[0, 1]$. Bentuk fungsi keanggotaan dapat berupa segitiga, trapesium, dan sebagainya.

C. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah tahapan konversi nilai tegas (*crisp*) dari variabel input menjadi nilai linguistik berupa derajat keanggotaan pada setiap himpunan Fuzzy [16]. Dalam proses fuzzifikasi terdapat dua langkah utama yang dilakukan yaitu :

1. Menentukan fungsi keanggotaan untuk input tegas
2. Membandingkan input tegas tersebut dengan Fungsi Keanggotaan yang telah ditentukan untuk menghasilkan nilai input Fuzzy.

C. Aturan Fuzzy

Aturan Fuzzy (*Fuzzy Rules*) dinyatakan dalam bentuk aturan IF-THEN di mana anteseden (premis/klausa IF) dan konsekuen (aksi/klausa THEN) terdiri dari variabel linguistik. Kumpulan aturan ini membentuk basis pengetahuan (*rule base*) yang merepresentasikan relasi *input-output* sistem. Ada empat metode utama yang dilakukan untuk memperoleh basis aturan fuzzy [16] yaitu :

1. Pengalaman dan Pengetahuan Pakar adalah aturan didasarkan pada pengalaman operasional dan pengetahuan kendali dari para pakar atau engineer.
2. Aksi Operator Kendali adalah aturan yang ditentukan berdasarkan pengamatan langsung terhadap tindakan yang dilakukan oleh operator manusia dalam pengendalian sistem.
3. Model Fuzzy dari Sistem merupakan aturan yang didapatkan dari gambaran linguistik mengenai karakteristik dinamis dari suatu proses.
4. Pembelajaran (*Learning*) yaitu aturan yang dimodifikasi secara otomatis oleh sistem, merujuk pada kemampuan sistem untuk *self organizing*.

D. Inferensi fuzzy Mamdani

Sistem Inferensi Fuzzy (FIS) adalah kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan Fuzzy, aturan IF-THEN, dan penalaran Fuzzy. Model Mamdani adalah salah satu FIS yang populer, dengan langkah-langkah inferensi sebagai berikut :

Derajat Kesepadanan (*Fuzzifikasi*) digunakan untuk menentukan derajat kesepadanan (nilai keanggotaan) antara data masukan dengan himpunan Fuzzy pada setiap variabel input dari setiap aturan.

2. Kuat Penyulutan (*Firing Strength*) berfungsi untuk menghitung kuat penyulutan (derajat kebenaran) untuk setiap aturan. Ini ditentukan oleh operator logika (AND, OR, dsb.) yang menghubungkan variabel input pada bagian premis (anteseden) aturan.

3. Implikasi Fuzzy dan Agregasi digunakan sebagai implikasi Fuzzy berdasarkan kuat penyulutan dan himpunan Fuzzy konsekuen (THEN) dari aturan. Hasil implikasi dari semua aturan kemudian diagregasikan (digabungkan) untuk mendapatkan output inferensi.

Dalam tahap agregasi (penggabungan output), ada tiga metode yang umum digunakan:

1. Metode Max (Maximum) yaitu Solusi himpunan Fuzzy didapatkan dengan mengambil nilai tertinggi (Maximum) dari setiap kontribusi aturan, yang kemudian dioperasikan dengan operator OR.
2. Metode *Additive* (Sum) yaitu Solusi himpunan Fuzzy didapatkan dengan menjumlahkan (bounded-sum) semua kontribusi daerah Fuzzy.
3. Metode Probabilistik OR (Probor) yaitu Solusi himpunan Fuzzy didapatkan dengan melakukan operasi perkalian (*product*) pada semua kontribusi daerah Fuzzy.

E. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses akhir dalam sistem Fuzzy yaitu konversi himpunan Fuzzy hasil agregasi inferensi menjadi nilai tegas (*crisp*) tunggal. Proses ini menafsirkan daerah aksi kendali Fuzzy kembali ke dalam Semesta Pembicaraan non-Fuzzy. Berikut adalah beberapa metode Defuzzifikasi yang digunakan pada Model Mamdani [16]:

1. Metode *Centroid* (*Center of Gravity*) yaitu nilai tegas diperoleh dengan mencari titik pusat (*centroid*) dari luasan daerah himpunan Fuzzy hasil agregasi.
2. Metode *Bisector* (*Bisection of Area*) yaitu nilai tegas diperoleh dengan mencari titik pada domain Fuzzy yang membagi luasan daerah himpunan Fuzzy menjadi dua bagian yang sama besar.
3. Metode *Min of Maximum* (MOM) yaitu nilai tegas diperoleh dengan mengambil nilai rata-rata dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimal (ketinggian puncak).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4. Metode *Smallest of Maximum* (SOM) yaitu nilai tegas diperoleh dengan mengambil nilai terendah dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimal.
5. Metode *Largest of Maximum* (LOM) yaitu nilai tegas diperoleh dengan mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimal.

2.2.4 Matrix Laboratory (MATLAB)

Matrix Laboratory (MATLAB) adalah sebuah perangkat lunak komputasi teknis yang serbaguna, digunakan secara luas untuk berbagai perhitungan matematika dan pemodelan dikenalkan pertama kali oleh Cleve Moler pada tahun 1970, awalnya perangkat lunak ini dirancang khusus untuk menyelesaikan masalah persamaan *linear*. Namun, seiring berjalannya waktu, fungsi dan performa komputasinya terus berkembang pesat. MATLAB kini telah menjadi alat esensial di dunia akademis maupun industri, berfungsi sebagai platform pembelajaran utama di universitas serta sebagai sarana penting untuk penelitian, pengembangan, dan analisis produk di berbagai industri [17].

MATLAB merupakan *software* yang dikembangkan oleh *Mathworks*, dan merupakan software yang paling efisien untuk perhitungan numeric berbasis matriks. Dalam pengembangan oleh *Mathworks*, Bahasa pemrograman yang digunakan merupakan gabungan dari proses pemrograman, komputasi, dan visual melalui lingkungan kerja yang lebih sederhana. MATLAB memiliki beberapa keunggulan umum diantaranya analisis dan eksplorasi data, pengembangan algoritma, pemodelan dan simulasi, visualisasi plot dalam bentuk 2D dan 3D, hingga perkembangan antar muka grafis. Penggunaan MATLAB dapat diaplikasikan pada sistem operasi *Windows*, *Linux*, maupun *macOS*. Selain itu, MATLAB juga dapat dihubungkan dengan aplikasi ataupun bahasa pemrograman eksternal seperti C, Java, NET dan *Microsoft Excel* [18].

2.2.5 Ruang Lingkup Kerja MATLAB

Pada MATLAB sendiri terdapat ruang lingkup kerja yang digunakan untuk melakukan beberapa pemrograman, pemodelan dan lainnya. Berikut beberapa ruang lingkup kerja MATLAB :

- a. *Command window* adalah jendela yang pertama kali setiap MATLAB dijalankan pada jendela yang dapat mengakses ke commad MATLAB secara langsung dengan mengetikkan barisan-barisan ekspresi MATLAB seperti mengakses *help* dan lain sebagainya. *Command window* juga berfungsi sebagai tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variabel, menjalankan proses dan melihat isi variabel.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- b. *Current Directory* merupakan jendela yang menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan MATLAB. Direktori dapat diganti sesuai dengan tempat kita bekerja sesuai dengan keinginan. Default alamat direktori akan berada dalam *folder works* tempat program file berada.
- c. *Command History* merupakan tempat untuk menyimpan perintah apa saja yang sebelumnya telah dilakukan oleh pengguna terhadap MATLAB.
- d. *Workspace* merupakan jendela yang berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel aktif yang sedang digunakan pada MATLAB. Apabila variabel berupa data matriks berukuran besar maka pengguna dapat melihat isi dari seluruh data dengan cara *double* klik pada variabel tersebut.

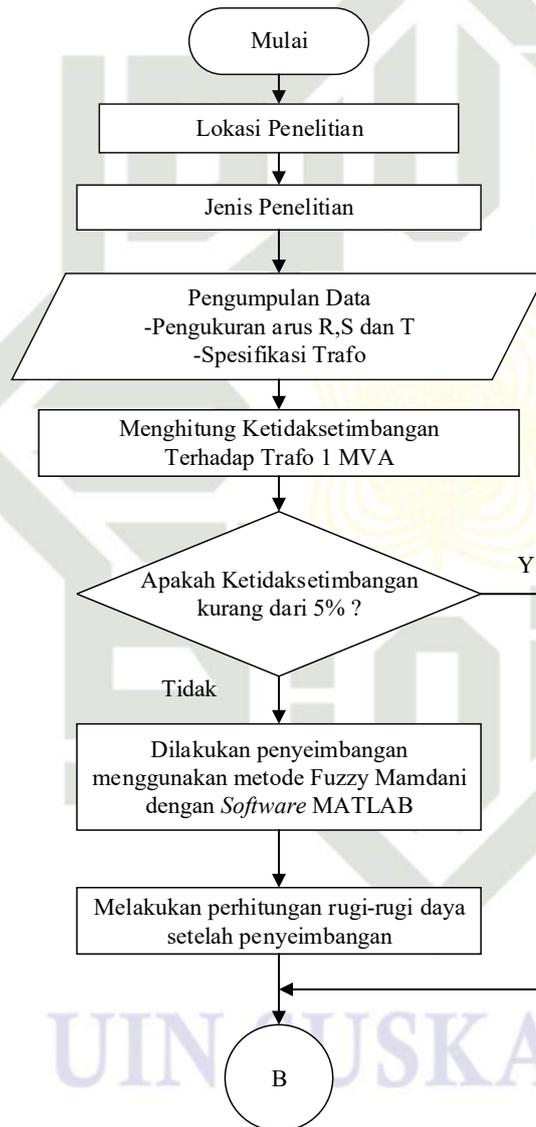


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian

Pada penelitian Tugas Akhir ini memiliki beberapa tahapan yang akan dilakukan di antaranya penentuan judul, perumusan masalah, tujuan yang diharapkan dari penelitian, proses pemodelan matematis dari suatu sistem, serta proses perancangan Fuzzy Mamdani. Adapun alur dari penelitian dapat dilihat pada *flowchart* berikut :

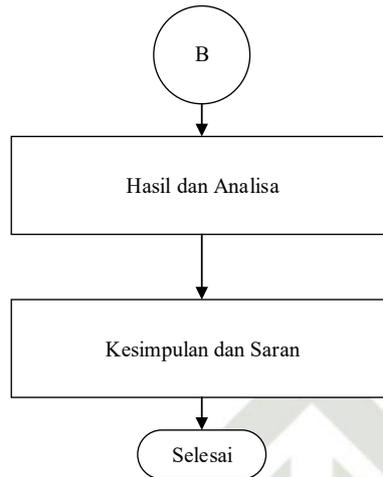


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Adapun Tahapan penelitian Tugas Akhir ini yang dilakukan berdasarkan *flowchart* diatas yaitu :

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan salah satu gedung yang terdapat di kampus di UIN Suska Riau pada semester ganjil tahun ajaran 2024 –2025

2. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Pendekatan ini berfokus pada penggunaan data numerik dan analisis statistik untuk menyelesaikan masalah penelitian. Data diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan, yang memungkinkan pengukuran hasil yang objektif.

3. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, penulis mengumpulkan data yang dilakukan langsung di lapangan, yaitu di beberapa gedung UIN Suska. Penulis melakukan diskusi bersama rekan kerja dan wawancara dengan teknisi lapangan untuk memahami proses pengambilan data pengukuran secara langsung. Data yang diperoleh meliputi nilai arus fasa R, S, dan T, serta beban daya. Data-data ini kemudian dihitung dan dianalisis untuk mengidentifikasi rugi-rugi daya dan mencari solusi untuk setiap kerugian yang ada di UIN Suska Riau. Data yang akan digunakan yaitu sebagai berikut



Tabel 3. 1 Spesifikasi Trafo Uin Suska Riau

Spesifikasi	Keterangan
Merek Trafo	Starlite
Kapasitas Trafo	1000 kVA
Beban	Berkelanjutan
Standart	SPLN 50:1997
Pendingin	ONAN
Berat Minyak	705 kg
Kenaikan Maksimal Suhu Minyak	50°
Rugi – Rugi Tanpa Beban	2300 Watt
Rugi – Rugi Dengan Beban	12100 Watt
Impedansi	5%
Vektor Grup	Dyn5
Dimensi	1865*1010*1969 mm
Massa	3400 kg

Tabel 3. 2 Data pembebanan distribusi pada trafo 1000 kVA UIN Suska Riau Hari ke 1

No	Nama Gedung	Arus/Fasa (A)			Waktu Pengukuran
		<i>Ir</i>	<i>Is</i>	<i>It</i>	
1	Gedung Rektorat	111.4	74.3	82.1	13:57
2	PTIPD	35.6	26.1	33.5	13:57
3	Perpustakaan	56.7	63.8	70.3	13:56
4	Fakultas Ekonomi	42.8	66.4	57.6	13:54
5	Fakultas Dakwah	41.7	70.2	88.6	13:53
6	Fakultas Psikologi	59.2	67.1	70.5	13:52
7	G. Lab. Ekonomi & Psikologi	48.9	41.2	26.7	13:58
8	Fakultas Sains & Teknologi	139.1	88.6	71.7	13:53
9	Lab Sains dan Teknologi	83.4	53.6	43.0	14:01
10	Asrama Putri Aisyah	34.8	22.2	20.1	14:02
11	Asrama Putri Fatimah	6.4	13.0	4.5	14:02
12	Gedung Belajar	20.8	45.3	31.2	14:02

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Tabel 3. 3 Data pembebanan distribusi pada trafo 1000 kVA UIN Suska Riau Hari ke 2

No	Nama Gedung	Arus/Fasa (A)			Waktu Pengukuran
		<i>Ir</i>	<i>Is</i>	<i>It</i>	
1	Gedung Rektorat	155.3	143.3	111.3	11:31
2	PTIPD	45.3	52.8	66.9	11:30
3	Perpustakaan	78.2	89.2	95.6	11:31
4	Fakultas Ekonomi	68.2	68.8	67.0	11:29
5	Fakultas Dakwah	104.5	144.4	70.7	11:33
6	Fakultas Psikologi	67.8	104.3	90.7	11:27
7	G. Lab. Ekonomi & Psiokologi	35.5	37.8	36.5	11:32
8	Fakultas Sains & Teknologi	201.5	121.5	163.5	11:26
9	Lab Sains dan Teknologi	23.7	11.3	10.6	11:51
10	Asrama Putri Aisyah	10.6	26.9	6.7	11:46
11	Asrama Putri Fatimah	5.7	31.6	1.8	11:46
12	Gedung Belajar	38.4	61.3	44.9	11:47

Tabel 3. 4 Data pembebanan distribusi pada trafo 1000 kVA UIN Suska Riau Hari ke 3

No	Nama Gedung	Arus/Fasa (A)			Waktu Pengukuran
		<i>Ir</i>	<i>Is</i>	<i>It</i>	
1	Gedung Rektorat	145.7	141.1	111.5	13:30
2	PTIPD	33.3	38.0	56.0	13:30
3	Perpustakaan	67.6	88.9	91.3	13:28
4	Fakultas Ekonomi	44.1	38.2	49.8	13:27
5	Fakultas Dakwah	96.1	116.8	66.5	13:26
6	Fakultas Psikologi	72.8	87.3	106.6	13:24
7	G. Lab. Ekonomi & Psiokologi	51.5	34.6	34.8	13:23
8	Fakultas Sains & Teknologi	166.1	115.8	133.5	13:31
9	Lab Sains dan Teknologi	106.3	57.9	80.1	13:40
10	Asrama Putri Aisyah	41.5	13.9	47.7	13:41
11	Asrama Putri Fatimah	18.2	46.3	5.7	13:41
12	Gedung Belajar	40.1	72.6	56.5	13:42



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

Tabel 3. 5 Data rata-rata harian trafo 1000 kVA UIN Suska Riau (4–11 Maret 2025)

Hari	Tegangan (V)			Arus (A)			I total (A)	P (kW)	Q (kVar)	S (Kva)	Pf
	V_r	V_s	V_t	I_r	I_s	I_t					
1	232.6	233.9	232.4	605.5	577.7	536.4	1719.6	275.5	59.2	281.9	0.9
2	232.5	233.9	232.4	664.5	629.7	568.6	1862.8	308.7	67.7	316.1	0.9
3	232.9	234.4	232.7	603.6	565.2	510.4	1679.2	282.2	69.8	291.0	0.9
4	231.7	233.0	231.7	641.6	602.3	580.2	1824.1	291.6	68.6	299.6	0.9
5	235.2	236.5	235.1	195.4	151.1	159.9	506.4	79.9	28.2	84.5	0.9
6	235.5	237.0	235.5	100.3	77.9	69.6	247.8	43.3	16.1	46.4	0.9
7	231.7	233.0	231.5	678.5	650.8	576.5	1905.8	320.0	77.3	329.3	0.9
8	232.2	233.3	232.0	626.2	622.0	544.5	1792.7	298.1	77.3	308.1	0.9
R	231.9	234.4	232.9	516.4	483.8	447.6	1442.3	237.4	58.0	244.6	0.9

Tabel 3. 6 Data beban puncak harian pada trafo 1000kVA UIN Suska Riau (4–11 Maret 2025)

Hari	Tegangan (V)			Arus (A)			I total (A)	P (kW)	Q (kVar)	S (Kva)	Pf
	V_r	V_s	V_t	I_r	I_s	I_t					
1	238.1	239.2	238.3	779.5	779.6	577.1	2136.2	372.6	83.9	379.3	0.9
2	238.2	239.3	238.3	794.8	772.8	623.9	2191.5	369.2	95.6	378.2	0.9
3	237.8	239.0	237.7	726.6	712.1	582.4	2021.1	342.7	97.2	352.6	0.9
4	237.7	238.8	237.8	773.8	720.1	659.2	2153.1	354.5	98.9	363.0	0.9
5	238.3	239.6	238.4	262.2	217.0	172.0	651.2	113.5	46.9	120.9	0.9
6	238.0	239.3	238.0	138.4	109.9	75.1	323.4	61.0	25.4	65.4	0.9
7	238.0	239.5	238.0	884.5	793.8	602.7	2281	401.6	96.5	411.4	0.9
8	238.1	239.2	238.1	779.5	779.6	580.6	2139.7	369.4	101.8	378.6	0.9

4. Menghitung Ketidaksetimbangan

Pada penelitian ini akan melakukan perhitungan dengan menggunakan data-data yang sudah di peroleh di atas. Adapun pada tahap ini akan melakukan perhitungan antara lain menghitung daya terpakai, persentase pembebanan, dan ketidakseimbangan beban

a. Menghitung Arus Beban penuh Pada Trafo

Dalam menghitung arus beban penuh (I_n) pada transformator diperlukan data kapasitas daya penuh yaitu dengan menggunakan persamaan (2.4).



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

b. Menghitung Arus rata-rata fasa R,S dan T

Dengan memasukkan nilai pada masing-masing fasa lalu dibagi dengan jumlah fasa maka akan didapatkan hasil rata-rata ketidaksetimbangan beban (I_{rt}) sesuai dengan persamaan (2.5). Data yang dihitung yaitu berdasarkan Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

c. Menghitung Persentase Pembebanan pada Trafo

Dengan memasukkan nilai arus rata-rata (I_{rt}) pada persamaan (2.5) dibagi dengan kapasitas daya penuh dari transformator pada persamaan (2.4), maka didapatkan persentase pembebanan (P_r %) dengan menggunakan persamaan (2.6).

d. Menghitung Nilai Koefisien Ketidaksetimbangan

Mencari nilai koefisien (a,b,c), digunakanlah persamaan (2.5) sebagai pembagi setiap fasa R, S, T sesuai dengan persamaan (2.1), (2.2), dan (2.3).

e. Menghitung Persentase Ketidaksetimbangan Beban

Untuk mencari persentase ketidakseimbangan beban (K_t %) pada transformator 1 MVA dengan menggunakan persamaan (2.1), (2.2), (2.3) untuk mencari nilai koefisien a,b, dan c. Dengan menggunakan nilai koefisien tersebut kita dapat menghitung persentase ketidaksetimbangan beban dengan persamaan (2.7).

f. Menghitung Rugi-rugi Daya

Rugi-rugi daya total pada trafo merupakan jumlah dari dua komponen utama yaitu Rugi Daya Tanpa Beban (Rugi Besi) dan Rugi Daya Berbeban (Rugi Tembaga).

Untuk menghitung rugi-rugi daya pada trafo dapat dilakukan berdasarkan persamaan (2.8)

g. Menghitung Rugi Energi

Rugi energi adalah total energi listrik yang hilang (terkonversi menjadi panas) dalam selang waktu tertentu, biasanya dihitung dalam satuan kilowatt-jam (kWh).

Untuk dapat melihat total energi listrik dapat dilakukan dengan persamaan (2.9).

h. Menghitung biaya kerugian

Biaya kerugian yang timbul akibat rugi daya mengubah rugi teknis menjadi dampak ekonomi yang nyata. Nilai Bpn yang tinggi menunjukkan pemborosan energi dan untuk memperbaiki faktor daya dalam menurunkan arus yang mengalir Untuk menghitung kerugian energi tersebut dapat dilakukan seperti persamaan (2.10).



Penyeimbangan dengan menggunakan metode Fuzzy Mamdani

Langkah-langkah penyeimbangan beban menggunakan Metode Fuzzy Mamdani :

1. Fuzzifikasi mentransformasi variabel *input* (arus fasa dan persentase ketidakseimbangan beban) yang berupa nilai tegas menjadi variabel linguistik. Pada tahap ini dilakukan pengambilan nilai numerik dari hasil perhitungan dan menentukan seberapa kuat nilai tersebut menjadi anggota dari setiap kategori linguistik.
 - a. Menentukan nilai Input numerik berdasarkan perhitungan harian
 $P_r = 49.33\%$
 $K_t = 66.73\%$
 - b. Menentukan himpunan Fuzzy dan fungsi keanggotaan dengan cara menentukan batas linguistik (Rendah, Sedang, Tinggi) dan tentukan fungsi matematis (misalnya, Segitiga atau Trapesium) untuk setiap himpunan.

Tabel 3. 7 himpunan Fuzzy

Variabel	Himpunan Fuzzy	Rentang nilai
P_r (%)	Rendah, Sedang, Tinggi	R (0-40), S (30-40), T (70-100)
K_t (%)	Rendah, Sedang, Tinggi	R (0-5), S (3-15), T (15-100)
Output	Kecil, Sedang, Besar	R (0-3), S (2-7), T (6-10)

- c. Menghitung Derajat keanggotaan dilakukan dengan Masukkan nilai P_r dan K_t ke dalam fungsi keanggotaan untuk mendapatkan derajat keanggotaan (nilai antara 0 sampai 1).
 $\mu_{sedang}(P_r)=0.8$
 $\mu_{tinggi}(P_r)=0.2$
 $\mu_{tinggi}(K_t)=1.0$
2. Pembentukan Basis Aturan (*Rule Base*) menentukan aturan-aturan Fuzzy (IF-THEN) yang menghubungkan kondisi input dengan *output* yang diinginkan.

Tabel 3. 8 Basis Aturan (*Rule Base*)

No	Linguistik (P_r)	Linguistik (K_t)	Aksi
1	Rendah	Rendah	Kecil
2	Sedang	Rendah	Kecil
3	Tinggi	Rendah	Sedang



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diararang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

4	Rendah	Tinggi	Sedang
5	Sedang	Tinggi	Besar
6	Tinggi	Tinggi	Besar

3. Inferensi Menggunakan operator logika Fuzzy untuk menentukan tingkat aktivasi setiap aturan berdasarkan nilai keanggotaan input. Tahap ini menentukan seberapa kuat (derajat aktivasi) setiap aturan berlaku, menggunakan operator MIN (AND)
4. Defuzzifikasi Mentransformasi kembali variabel *output* linguistik hasil inferensi menjadi nilai tegas (*crisp*) yang dapat digunakan sebagai keputusan atau aksi nyata. Biasanya menggunakan metode *Centroid* (Pusat Gravitasi). Metode ini menghitung titik tengah area gabungan dari *output* fuzzy.

$$Output\ Crisp = Centroid\ (Himpunan\ Output\ Fuzzy)$$

Contoh : Jika Output Fuzzy yang dihasilkan adalah Besar dengan derajat keanggotaan 0,8, maka nilai Centroid yang dihasilkan adalah 8,5. Nilai 8,5 ini berada dalam rentang [0-10] untuk skala Aksi Penyeimbangan

5. Implementasi Keputusan Mengaplikasikan nilai *output* tegas tersebut untuk melakukan penyeimbangan beban antar fasa pada transformator.

Keputusan : Nilai Crips 8.5 (skala 1-10) menunjukkan bahwa aksi penyeimbangan beban sangat diperlukan.

Implementasi : Nilai yang dihasilkan dapat diterjemahkan menjadi “ Segera lakukan penyeimbangan beban dengan cara memindahkan beban dari fasa R dan S ke fasa T (arus terendah) dengan target perpindahan arus 8.5% dari total beban

6. Analisa Hasil

Setelah pengujian selesai, akan dilakukan analisa hasil secara mendalam. Hasil simulasi berupa nilai arus fasa setelah penyeimbangan akan dibandingkan dengan kondisi awal. Selain itu, analisis rugi-rugi daya trafo (sebelum dan sesudah penyeimbangan) akan dihitung untuk mengukur efisiensi sistem. Analisis ini akan menggunakan data-data kuantitatif untuk membuktikan bahwa metode Fuzzy Mamdani efektif dalam mengurangi kerugian daya dan meningkatkan efisiensi trafo.

7. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap akhir, penelitian ini akan menyajikan kesimpulan yang merangkum semua temuan penting. Kesimpulan akan menjawab tujuan penelitian dan menyatakan apakah metode Fuzzy Mamdani berhasil digunakan untuk penyeimbangan beban dan analisis rugi-



rugi daya. Berdasarkan hasil yang diperoleh, akan diberikan saran untuk pengembangan penelitian di masa mendatang, seperti implementasi sistem secara otomatis atau pengujian pada area yang lebih luas.



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi yang dilakukan pada Bab 4 mengenai penyeimbangan beban Transformator Distribusi 1 MVA di UIN Suska Riau, diperoleh kesimpulan yang menjawab rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

5.1 Kesimpulan.

1. Perhitungan tingkat ketidakseimbangan beban dilakukan dengan membandingkan deviasi arus fasa terhadap arus rata-rata dalam persentase. Hasil analisis pada lokasi penelitian menunjukkan kondisi ketidakseimbangan beban yang tinggi dengan rata-rata sebesar 23%. Kondisi ini secara teknis memicu munculnya arus netral yang besar, yaitu 61,8 A, yang berimplikasi langsung pada peningkatan rugi-rugi daya (losses) di sisi sekunder transformator hingga mencapai 1.458,9 Watt. Hal ini membuktikan bahwa ketidakseimbangan beban merupakan faktor utama penurunan efisiensi trafo sebelum dilakukannya tindakan penyeimbangan.
2. Sistem inferensi Logika Fuzzy metode Mamdani terbukti sangat efektif sebagai instrumen pengambilan keputusan untuk optimalisasi beban. Melalui tiga tahapan utama yaitu fuzzifikasi (arus fasa dan persentase ketidakseimbangan), inferensi (*Rule Base IF-THEN*) dan defuzzifikasi yaitu sistem yang mampu mengubah input linguistik menjadi nilai tegas yang merepresentasikan jumlah dan arah perpindahan beban. Metode ini berhasil memberikan rekomendasi pembagian beban pada fasa R, S, dan T secara lebih presisi dan sistematis dibandingkan metode konvensional, sehingga mampu mencapai kondisi seimbang yang optimal.
3. Proses penyeimbangan beban menggunakan simulasi Fuzzy Mamdani menunjukkan peningkatan kinerja transformator yang sangat signifikan. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa persentase ketidakseimbangan beban berhasil ditekan dari 23% menjadi 4%, sehingga nilainya berada jauh di bawah ambang batas standar sebesar 5%. Selain itu, arus netral mengalami penurunan yang sangat drastis, dari 61,8 A menjadi 10,7 A, yang menandakan distribusi beban antar fasa menjadi lebih merata. Dampak positif lainnya terlihat pada rugi-rugi daya, di mana terjadi peningkatan efisiensi energi yang signifikan dengan penurunan losses sebesar 15,77% sehingga kinerja transformator menjadi lebih optimal dan andal.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan sistem Fuzzy Mamdani ini dengan perangkat keras (*hardware*) mikrokontroler atau PLC untuk menciptakan sistem penyeimbang beban otomatis dan real-time. Hal ini memungkinkan tindakan koreksi diambil seketika saat ketidakseimbangan terdeteksi.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. W. Suryawan, A. A. N. Amrita, and W. Setiawan, "Analisis Penyeimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Menggunakan Metode Fuzzy," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, p. 141, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i01.p19.
- [2] A. B. Prayoga and B. Suprianto, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Terhadap Rugi Daya (Losses) Dengan Digsilent Power Factory di PT.PLN (Persero) ULP Ngunut," *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 23–32, 2023, doi: 10.26740/jte.v12n2.p23-32.
- [3] L. Liliana, Z. Aini, and S. Bandri, "Estimated Cost of Power Losses Due to Imbalance, No-Load and On-Load on Transformers in 2023-2033," *J. Edukasi Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 45–54, 2024, doi: 10.21831/jee.v8i1.65224.
- [4] S. Baqaruzi and A. Muhtar, "Analisis Jatuh Tegangan dan Rugi-rugi Akibat Pengaruh Penggunaan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi Primer 20 KV," *E-JOINT (Electronica Electr. J. Innov. Technol.)*, vol. 1, no. 1, pp. 20–26, 2020, doi: 10.35970/e-joint.v1i1.216.
- [5] R. Ruliyanto, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Arus Ground pada Trafo 1 dan Trafo 2 pada Beban Puncak Sesaat," *J. Ilm. Giga*, vol. 23, no. 1, p. 27, 2020, doi: 10.47313/jig.v23i1.867.
- [6] A. Emirwati, L. Sartika, and A. M. Prasetia, "Analisis keandalan sistem trafo step down menggunakan metode logika fuzzy," *J. Eltek*, vol. 21, no. 2, pp. 68–75, 2023, doi: 10.33795/eltek.v21i2.3671.
- [7] M. C. De Queljoe, D. R. Pattiapon, and M. Jamlaay, "Analisis Penyeimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi AMH02 Penyulang Amahai Di PT. PLN (Persero) ULP Masohi," *J. ELKO (Elektrikal dan Komputer)*, vol. 1, no. 1, pp. 10–18, 2021, doi: 10.54463/je.v1i1.2.
- [8] J. F. Fawwas, S. Abduh, and T. K. Sari, "Analisis Penyeimbangan Beban Transformator Distribusi 400kva 20kv/400v Menggunakan Software ETAP 19.0.1," *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 19, no. 2, pp. 223–236, 2022, doi: 10.25105/jetri.v19i2.12892.
- [9] A. Ragasukma Sutejo, M. Machmud Rifadil, R. Salsabila, T. Elektro Industri, and P.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [10] K. Riyadi, “Metode Fuzzy Dalam Penyeimbangan Beban Transformator Di Sistem Distribusi Tenaga Listrik,” *Ainet*, vol. 5 No.1, no. 1, pp. 28–34, 2023.
- [11] M. W. Djagolado, A. Amirullah, and S. Saidah, “Pengembangan Nominal Aturan Fuzzy pada Metode Fuzzy Mamdani untuk Menyeimbangkan Beban Tiga Fasa pada Saluran Distribusi Tegangan Menengah,” *Rekayasa*, vol. 14, no. 3, pp. 431–442, 2021, doi: 10.21107/rekayasa.v14i3.10655.
- [12] D. Wulan Hastatimur, W. Dirgantara, and R. Hari Romadhon, “Analisis Kualitas Minyak Isolasi Transformator Dengan Membandingkan Metode Fuzzy Mamdani dan Sugeno,” *J. Teknol. Elektro*, vol. 14, no. 03, pp. 141–148, 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i3.004.
- [13] H. L. Latupeirissa, “Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 Kv Di Pt. Pln Cabang Ambon,” *J. Simetrik*, vol. 8, no. 2, pp. 126–132, 2018, doi: 10.31959/js.v8i2.101.
- [14] A. W. Indrawan, S. Syarifuddin, P. Purwito, A. A.R4, A. R. Sultan, and A. Ilahi, “Penyeimbang Beban pada Gardu Distribusi dengan Metode Fuzzy Logic di Penyulang Lanosi ULP Tomoni PT.PLN (Persero),” *J. Teknol. Elekterika*, vol. 5, no. 2, p. 82, 2021, doi: 10.31963/elekterika.v5i2.3411.
- [15] R. Septima, S. Si, and M. Mat, *Inferensi Fuzzy Dengan Metode Mamdani*. Cv.Eureka Media Aksara, 2023.
- [16] A. J. Rindengan and Y. A. R. Langi, “Fuzzy Inference System : Metode Mamdani,” in *Sistem Fuzzy*, CV.Patra Media Grafindo Bandung, 2020, pp. 37–43.
- [17] A. Tjolleng, “Pengantar Pemrograman MATLAB: Panduan praktis belajar MATLAB,” *PT Elex Media Komputindo*, no. August, pp. 1–6, 2017.
- [18] B. Cahyono, “Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier,” *Phenomenon*, vol. 1, no. 1, pp. 45–62, 2013.

