

IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY TIPE-2
UNTUK MENGATASI KETIDAKPASTIAN DALAM
IDENTIFIKASI GANGGUAN TRANSFORMATOR DAYA
BERBASIS DGA

TESIS

Oleh:

ICHSAN AZIS DACHI
2305190005



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2025

IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY TIPE-2
UNTUK MENGATASI KETIDAKPASTIAN DALAM
IDENTIFIKASI GANGGUAN TRANSFORMATOR DAYA
BERBASIS DGA

TESIS

Diajukan untuk memenuhi persyaratan akademik guna memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Program Studi Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia

Oleh:

ICHSAN AZIS DACHI
2305190005



PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2025



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
PROGRAM PASCASARJANA

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ichsan Azis Dachi

NIM : 2305190005

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Program Pascasarjana

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul “IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY TIPE-2 UNTUK MENGATASI KETIDAKPASTIAN DALAM IDENTIFIKASI GANGGUAN TRANSFORMATOR DAYA BERBASIS DGA” adalah:

- 1 Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, tinjauan lapangan, buku-buku dan jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada karya tugas akhir saya.
- 2 Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di universitas lain, kecuali pada bagian-bagian sumber informasi yang dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.
- 3 Bukan merupakan karya terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada tugas.

Kalau terbukti saya tidak memenuhi apa yang dinyatakan di atas, maka karya tugas akhir ini dianggap batal.

Jakarta, 1 November 2025



(Ichsan Azis Dachi)



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
PROGRAM PASCASARJANA

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

**IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY TIPE-2 UNTUK MENGATASI
KETIDAKPASTIAN DALAM IDENTIFIKASI GANGGUAN TRANSFORMATOR
DAYA BERBASIS DGA**

Oleh:

Nama : Ichsan Azis Dachi

NIM : 2305190005

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Peminatan : Energi Terbarukan

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam Sidang Tugas Akhir guna mencapai gelar Magister/Strata Dua/ pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia.

Jakarta, 1 November 2025

Menyetujui:

Pembimbing I

(Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D)

NIDN : 0327046205

Pembimbing II

(Dr. Rismen Sinambela, ST., MT., IPM)

NIDN : 0317116903

Ketua Program Studi

(Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D)

Direktur



(Prof. Dr. dr. Bernadetha Nadeak, M.Pd., PA.)



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA PROGRAM PASCASARJANA

PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Pada 1 November 2025 telah diselenggarakan Sidang Tugas Akhir untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Magister Strata Dua pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, atas nama:

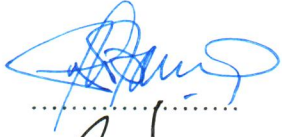
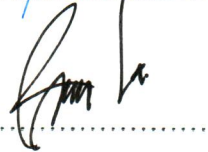
Nama : Ichsan Azis Dachi

NPM : 2305190005

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Program Pascasarjana

termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul “IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY TIPE-2 UNTUK MENGATASI KETIDAKPASTIAN DALAM IDENTIFIKASI GANGGUAN TRANSFORMATOR DAYA BERBASIS DGA” oleh tim penguji yang terdiri dari:

Nama Penguji	Jabatan dalam Tim Penguji	Tanda Tangan
1. Dr. Ichsan, ST, B.Sc (H), M.Sc	,Sebagai Ketua	
2. Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D	,Sebagai Anggota	
3. Dr. Rismen Sinambela, ST., MT.,IPM	,Sebagai Anggota	

Jakarta, 1 November 2025



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA PROGRAM PASCASARJANA

PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ichsan Azis Dachi

NIM : 2305190005

Fakultas : Program Pascasarjana

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Jenis Tugas Akhir : Tesis

Judul : IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY TIPE-2 UNTUK
MENGATASI KETIDAKPASTIAN DALAM IDENTIFIKASI
GANGGUAN TRANSFORMATOR DAYA BERBASIS DGA

Menyatakan bahwa:

- 1 Tugas akhir tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi manapun;
- 2 Tugas akhir tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya pihak lain, dan apabila saya/kami mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
- 3 Saya memberikan Hak Noneksklusif Tanpa Royalti kepada Universitas Kristen Indonesia yang berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan Intelektual atau Peraturan Perundangan-undangan Republik Indonesia lainnya dan integritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum dan sanksi akademis yang timbul serta membebaskan Universitas Kristen Indonesia dari segala tuntutan hukum yang berlaku.

Dibuat di Jakarta

Pada Tanggal 1 November 2025

Yang menyatakan



Ichsan Azis Dachi

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Saya panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata 'ala yang telah melimpahkan berkat dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia.

Tesis ini dapat kami susun atas bantuan dan bimbingan berbagai pihak sejak masa perkuliahan hingga penyusunan Tesis ini, sehingga dalam kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., PhD, selaku Dosen Pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini;
- (2) Bapak Dr. Rismen Sinambela, ST., MT., IPM, selaku Dosen Pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini
- (3) Bapak Dr. Ichsan, ST, B.Sc (H), M.Sc, selaku Dosen Penguji yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini
- (4) Bapak. Mohamad Farid Sadak, S.T, selaku Kontak Person rekan yang telah menyediakan waktu dan tenaga dalam membantu perizinan untuk penelitian saya di PT.PLN.
- (5) Bapak Fachrizal S.T., selaku Kontak Person pihak PLN (Persero) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Tengah, Kota Bandung, yang telah menyediakan waktu dan tenaga dalam membantu perizinan untuk penelitian saya di PT.PLN.
- (6) Ibu Aini A.Md., selaku Kontak Person pihak PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Cawang, Jakarta Timur, yang telah menyediakan waktu dan tenaga dalam membantu perizinan untuk penelitian saya di PT.PLN Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat (UIT JBB).
- (7) Bapak. Wawan Setiawan S.T, selaku Kontak Person pihak PT. Tracon Industri yang telah menyediakan waktu dan tenaga dalam membantu perizinan untuk penelitian saya di proyek industri kalimantan timur.
- (8) Bapak. Kamim, selaku Kontak Person pihak PT.Siemens Energy, yang telah menyediakan waktu dan tenaga dalam membantu perizinan untuk penelitian saya di project industri kalimantan timur.

- (9) Teman teman Magister Teknik Elektro Angkatan 2023 yang telah menyediakan waktu dan tenaga dalam membantu diskusi untuk penelitian saya
- (10) Istri dan Anak tercinta yang selalu mendukung dan memotivasi dalam penyelesaian Tesis ini.

Akhir kata, saya bermohon kepada Allah Subhanahu wata 'ala semoga berkenan membalas segala kebaikan semua Pihak yang telah membantu dan semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya dan khususnya pengembangan Diagnosa DGA & Fuzzy Logic ke arah yang lebih baik.

Jakarta, 1 November 2025



DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR	ii
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Identifikasi Masalah	1
1.3. Pembatasan Masalah	2
1.4. Perumusan Masalah.....	2
1.5. Tujuan Penelitian.....	3
1.6. Manfaat Penelitian.....	3
1.7. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.8. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II.....	4
LANDASAN TEORI.....	4
2.1. Transformator Daya	4
2.1.1 Jenis transformator daya berdasarkan fungsinya	4
2.1.2 Jenis transformator berdasarkan media isolasinya.....	4
2.1.3 Komponen utama transformator	5
2.1.4 Jenis kegagalan umum pada transformator antara lain:	7
2.2. Analisa Gas Terlarut (DGA)	8
2.2.1 Standar uji DGA	9
2.2.2 Gas utama dalam DGA	10
2.2.3 Metode interpretasi data DGA	11
2.3. Logika Fuzzy.....	15
2.3.1 Konsep Dasar	15

2.3.2	T1FLS (Type-1 Fuzzy Logic System)	16
2.3.3	T2FLS (Type-2 Fuzzy Logic System)	18
2.4.	Desain Logika Fuzzy dengan MATLAB	20
BAB III		22
METODOLOGI PENELITIAN.....		22
3.1.	Alur Kerja Penelitian (Diagram Alur Penelitian).....	22
3.2.	Perancangan Sistem Diagnostik Kegagalan Transformator Berbasis T2FLS 22	
3.3.	Evaluasi Kinerja System	23
BAB IV		24
HASIL & ANALISIS		24
4.1.	Klasifikasi Kondisi Transformator.....	24
4.2.	Rangkuman Hasil Klasifikasi.....	28
4.3.	Desain Sistem Fuzzy Logic Tipe-1 dan Tipe-2.....	30
4.4.	Implementasi Simulasi	43
4.5.	Analisis Kualitatif Kinerja Diagnostik.....	47
4.6.	Analisis Kuantitatif Kinerja Diagnostik.....	49
4.7.	Diskusi Keunggulan Fundamental T2FLS	51
4.8.	Temuan Penting.....	52
BAB V		53
PENUTUP.....		53
5.1.	Kesimpulan.....	53
5.2.	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA		56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Key Gas Method	12
Tabel 2.2 Rogers Ratio Method	13
Table 4.1 List transformer status 1	25
Table 4.2 List transformer status 2	25
Table 4.3 List transformer status 3 Industri 1	26
Table 4.4 List transformer status 3 Industri 2	27
Table 4.5 Summary status transformer 1,2 & 3	28
Table 4.6 Graphic Summary status 1,2 & 3 transformer industrial 1	28
Table 4.7 Summary status transformer 3	29
Table 4.8 Grafik Summary status 3 transformer industrial 2	29
Table 4.9 Summary Key Gas Method	36
Table 4.10 Perbandingan Hasil Simulasi Industri 1	47
Table 4.11 Perbandingan Hasil Simulasi Industri 2	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator Daya.....	4
Gambar 2.2 Komponen Transformator Daya.....	5
Gambar 2.3 Flow diagram untuk proses DGA.....	9
Gambar 2.4 Ekstraksi kandungan gas dari sample oil yang di ambil.....	10
Gambar 2.5 Doernenburg Ratio Flow Chart	12
Gambar 2.6 Duval Triangle Representation.....	13
Gambar 2.7 Duval Pentagon Representation	14
Gambar 2.8 Skema diagram T1FLS.....	17
Gambar 2.9 Footprint of uncertainty fuzzy type 2	18
Gambar 2.10 Skema diagram T2FLS.....	19
Gambar 2.11 Interface IT2FLS dalam MATLAB.....	21
Gambar 3.1 Flow chart diagram alur penelitian.....	22
Gambar 3.2 Flow chart diagram T2FLS	23
Gambar 4.1 Arsitektur Sistem Interpretasi Fuzzy Logic Duval Pentagon	30
Gambar 4.2 Plotting X,Y dan interpretasi pada Duval Pentagon.....	32
Gambar 4.3 Input X Coord fungsi keanggotaan.....	33
Gambar 4.4 Input Y Coord fungsi keanggotaan.....	33
Gambar 4.5 Output fault code fungsi keanggotaan.....	34
Gambar 4.6 Rules inference pada FIS Duval Pentagon	34
Gambar 4.7 Arsitektur Sistem Interpretasi Fuzzy Logic Key Gas.....	35
Gambar 4.8 Input (C ₂ H ₄) Ethylene fungsi keanggotaan	36
Gambar 4.9 Input (CO) CarbonMonoxide fungsi keanggotaan	37
Gambar 4.10 Input (H) Hydrogen fungsi keanggotaan.....	37
Gambar 4.11 Input (C ₂ H ₂) Acetylene fungsi keanggotaan	38
Gambar 4.12 Output FaultType fungsi keanggotaan	38
Gambar 4.13 Rules inference pada FIS Key Gas.....	39
Gambar 4.14 Arsitektur Sistem Interpretasi Fuzzy Logic Duval Triangle	40
Gambar 4.15 Plotting interpretasi Duval Triangle	41
Gambar 4.16 Simulink Architecture for Duval Pentagon	43
Gambar 4.17 Simulink Simulation for Duval Pentagon.....	44
Gambar 4.18 Simulink architecture for Key Gas	44
Gambar 4.19 Simulink Simulation for Key Gas	45
Gambar 4.20 Simulink architecture for Duval Triangle.....	46
Gambar 4.21 Simulink Simulation for Key Gas	46
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Akurasi Diagnostik T1FLS vs T2FLS	49
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Akurasi Diagnostik Industri 1	50
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Akurasi Diagnostik Industri 2	50
Gambar 4.25 Perbandingan Fungsi Keanggotaan Fuzzy Tipe-1 dan Tipe-2	51

DAFTAR SINGKATAN

A	: <i>Arching</i>
ANN	: <i>Artificial Neural Networks</i>
D1	: <i>Low Energy Discharge</i>
D2	: <i>High Energy Discharge</i>
DGA	: <i>Dissolved Gas Analysis</i>
DT	: <i>Mix of thermal & Electrical</i>
FIS	: <i>Fuzzy Inference System</i>
FOU	: <i>Footprint of Uncertainty</i>
IT2FLS	: <i>Interval Type-2 Fuzzy Logic System</i>
PD	: <i>Partial Discharge</i>
S	: <i>Stray Gassing</i>
T1	: <i>Thermal Fault < 300°C</i>
T1FLS	: <i>Type-1 Fuzzy Logic System</i>
T2	: <i>Thermal Fault 300-700°C</i>
T2FLS	: <i>Type-2 Fuzzy Logic System</i>
T3	: <i>Thermal Fault > 700 C</i>
TC	: <i>Thermal Cellulose</i>
TO	: <i>Thermal Mineral Oil</i>

ABSTRAK

Transformator daya merupakan komponen vital dalam sistem tenaga listrik, di mana Analisis Gas Terlarut (DGA) menjadi metode utama untuk diagnosis dini kegagalan. Namun, interpretasi DGA secara tradisional dipenuhi oleh ketidakpastian dan ambiguitas data yang tinggi, yang menyebabkan metode konvensional dan Logika Fuzzy Tipe-1 (T1FLS) memiliki keterbatasan akurasi. Penelitian ini mengusulkan implementasi sistem diagnostik cerdas berbasis Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS) untuk mengatasi masalah ketidakpastian tersebut. Sistem ini dirancang dengan mengintegrasikan basis aturan dari metode standar industri (Duval Pentagon dan Key Gas) dan memanfaatkan konsep *Footprint of Uncertainty (FOU)* untuk memodelkan ketidakpastian data secara eksplisit. Kinerja sistem divalidasi menggunakan dua set data industri (total 94 sampel) dan dibandingkan secara langsung dengan T1FLS. Hasil penelitian menunjukkan keunggulan signifikan IT2FLS, yang mencapai akurasi diagnostik 100% pada data Industri 1, mengungguli T1FLS (91.7%). Pada data Industri 2, kedua sistem menunjukkan akurasi 97.1%. Secara kualitatif, IT2FLS terbukti lebih robust dalam menangani kasus-kasus ambigu, dengan memberikan diagnosis bernuansa yang benar di mana T1FLS gagal. Penelitian ini menyimpulkan bahwa IT2FLS adalah metode yang lebih andal dan kuat untuk interpretasi DGA, menjadikannya alat bantu keputusan yang superior untuk pemeliharaan transformator daya berbasis kondisi.

Kata Kunci: Logika Fuzzy Tipe-2 (IT2FLS), Analisis Gas Terlarut (DGA), Transformator Daya, Diagnosis Gangguan, Ketidakpastian



ABSTRACT

Power transformers are vital components in electrical power systems, where Dissolved Gas Analysis (DGA) serves as a primary method for early fault diagnosis. However, traditional DGA interpretation is fraught with high data uncertainty and ambiguity, causing conventional methods and Type-1 Fuzzy Logic (T1FLS) to have accuracy limitations. This research proposes the implementation of an intelligent diagnostic system based on an Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS) to address this uncertainty problem. This system is designed by integrating rule bases from industry-standard methods (Duval Pentagon and Key Gas) and utilizing the Footprint of Uncertainty (FOU) concept to explicitly model data uncertainty. The system's performance was validated using two industrial datasets (94 samples total) and compared directly with T1FLS. The results show the significant superiority of IT2FLS, which achieved 100% diagnostic accuracy on Industrial Data 1, outperforming T1FLS (91.7%). On Industrial Data 2, both systems demonstrated 97.1% accuracy. Qualitatively, IT2FLS proved to be more robust in handling ambiguous cases, providing correct, nuanced diagnoses where T1FLS failed. This study concludes that IT2FLS is a more reliable and robust method for DGA interpretation, making it a superior decision-support tool for condition-based maintenance of power transformers.

Keywords: Type-2 Fuzzy Logic (IT2FLS), Dissolved Gas Analysis (DGA), Power Transformers, Fault Diagnosis, Uncertainty

