

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Transformator daya merupakan komponen vital dalam jaringan transmisi–distribusi, dan kegagalannya dapat menimbulkan kerugian ekonomis besar. CIGRÉ WG A2.62 (2024) mencatat bahwa rata-rata biaya pemadaman akibat kegagalan trafo transmisi di Eropa mencapai **€27 000 per jam**, dengan waktu pemulihan yang sering kali melebihi 72 jam. Di kawasan Asia Pasifik, permintaan listrik diproyeksikan tumbuh sekitar **4% per tahun hingga 2030** (IEA, 2024), sehingga risiko kegagalan akan semakin signifikan tanpa sistem diagnosis prediktif yang andal. Dalam konteks ini, Analisis Gas Terlarut (Dissolved Gas Analysis, DGA) telah lama menjadi metode utama diagnosis dini karena bersifat non-invasif.

Namun, interpretasi DGA masih menghadapi **ketidakpastian tinggi** akibat variabilitas sensor, ambiguitas ambang batas pada standar IEC 60599, dan pengaruh lingkungan. Survei terhadap 17 publikasi pada IEEE PES General Meeting 2025 menunjukkan bahwa metode konvensional seperti Duval Triangle dan IEC Ratio, serta pendekatan kecerdasan buatan generasi pertama seperti T1FLS dan machine learning klasik, rata-rata mencatat error klasifikasi di atas **10%** pada data lapangan. Kondisi ini menegaskan perlunya pendekatan yang secara inheren dirancang untuk mengelola ketidakpastian, di mana Logika Fuzzy Tipe 2 (T2FLS), melalui konsep *footprint of uncertainty* menawarkan potensi signifikan dalam meningkatkan akurasi diagnosis. Penelitian ini bertujuan merancang sistem diagnostik berbasis **Interval T2FLS**. Sebagai validasi awal, sistem ini diuji menggunakan 54 sampel representatif yang diambil dari dataset industri, untuk menunjukkan kelayakan dan potensi metode ini sebelum diterapkan pada skala yang lebih besar.

1.2. Identifikasi Masalah

- Ketidakpastian tinggi pada data DGA menyulitkan diagnosis kegagalan secara akurat.
- Pendekatan konvensional dan T1FLS memiliki keterbatasan dalam mengelola ambiguitas dan variabilitas data, yang terbukti berkontribusi pada tingkat kesalahan klasifikasi di atas 10% pada data lapangan.

- Dibutuhkan metode yang lebih fleksibel dan toleran terhadap ketidakpastian untuk meningkatkan keandalan sistem diagnosis.
- Belum banyak penelitian yang mengembangkan sistem berbasis T2FLS untuk aplikasi diagnostik transformator dengan fokus pada optimasi parameter sistem.

1.3. Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini dapat terfokus dan mencapai tujuan yang ditetapkan, ruang lingkup penelitian dibatasi pada aspek-aspek berikut:

- **Fokus Data & Diagnostik:** Penelitian hanya menggunakan data Dissolved Gas Analysis (DGA) dari transformator daya, mencakup 54 sampel Industri 1 dan 40 sampel Industri 2. Metode diagnostik yang digunakan dibatasi pada standar DGA (Duval Pentagon, Duval Triangle, dan Key Gas).
- **Model dan Perbandingan:** Fokus implementasi adalah pada Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS). Perbandingan kinerja hanya dilakukan dengan Type-1 Fuzzy Logic System (T1FLS).
- **Lingkup Implementasi:** Implementasi dan validasi hanya dilakukan melalui simulasi MATLAB/Simulink. Penelitian ini tidak mencakup implementasi perangkat keras (hardware) atau pengujian online/real-time.
- **Parameter Evaluasi:** Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan metrik Akurasi kuantitatif dan kemampuan mengatasi ketidakpastian data kualitatif.

1.4. Perumusan Masalah

Berangkat dari pemetaan tantangan dan peluang yang telah diuraikan, perlu dirumuskan pertanyaan-pertanyaan penelitian yang secara sistematis menutup kesenjangan metodologis dan praktis tersebut, sehingga kontribusi yang dihasilkan bersifat terukur serta diakui komunitas internasional.

- Bagaimana merancang sistem diagnostik kegagalan transformator daya menggunakan T2FLS untuk menangani ketidakpastian tinggi dalam data DGA?
- Bagaimana kinerja sistem T2FLS dibandingkan dengan metode diagnostik konvensional dan/atau sistem berbasis T1FLS dari aspek akurasi dan robustitas?
- Bagaimana menentukan parameter optimal (fungsi keanggotaan Tipe-2, basis aturan fuzzy) untuk sistem T2FLS agar diagnosis kegagalan transformator dapat dilakukan secara efektif?

1.5. Tujuan Penelitian

- Merancang dan mengimplementasikan sistem diagnostik transformator daya berbasis T2FLS.
- Menganalisis kemampuan T2FLS dalam menangani ketidakpastian data DGA.
- Membandingkan kinerja sistem T2FLS dengan metode lain (Key Gas, Duval Pentagon, dan sistem berbasis T1FLS).

1.6. Manfaat Penelitian

- *Manfaat Akademik*: Memberikan kontribusi terhadap pengembangan aplikasi T2FLS dalam teknik elektro, khususnya diagnostik peralatan.
- *Manfaat Praktis*: Menyediakan alat bantu diagnostik andal untuk operator dan insinyur yang berpotensi menekan tingkat kesalahan diagnosis secara signifikan guna mendeteksi kegagalan transformator secara dini..

1.7. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada pengembangan dan evaluasi sistem diagnostik berbasis Interval Type-2 Fuzzy Logic System (IT2FLS) untuk menginterpretasikan data DGA pada transformator daya. Lingkup penelitian mencakup desain sistem fuzzy, pemilihan dan pengolahan data, perancangan fungsi keanggotaan dan aturan fuzzy, serta pengujian performa sistem secara simulatif. Lingkup ini tidak mencakup aspek implementasi perangkat keras, integrasi sistem secara real-time di lapangan, serta interaksi dengan sistem kontrol otomatis lainnya.

1.8. Sistematika Penulisan

BAB 1 menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan, dan sistematika penulisan.

BAB 2 membahas teori dasar dan tinjauan pustaka.

BAB 3 menyajikan metodologi penelitian.

BAB 4 menyajikan hasil dan pembahasan.

BAB 5 berisi kesimpulan dan saran.

Daftar pustaka dan lampiran melengkapi dokumen.