

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
PADA GI 150/20 KV GARUDA SAKTI MENGGUNAKAN METODE
FUZZY LOGIC

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Strata Satu (S-1) Jurusan Teknik Elektro*

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Bung Hatta

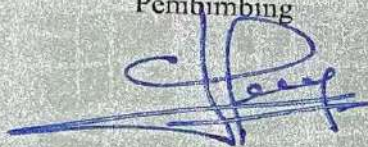
Oleh :

HIDAYATULLAH

NPM : 2310017111037

Disetujui Oleh :

Pembimbing



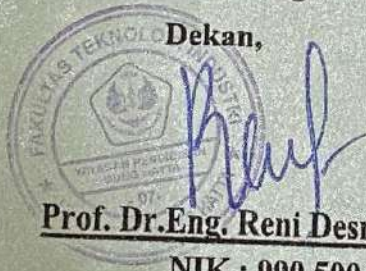
Ir. Cahayahati, MT

NIDN : 930 500 331

Diketahui Oleh

Fakultas Teknologi Industri

Dekan,



Prof. Dr.Eng. Reni Desmiarti, S.T., M.T

NIK : 990 500 496

Jurusan Teknik Elektro

Ketua,



Ir. Arzul, MT

NIDN : 1027086201

LEMBAR PENGUJI
ANALISIS MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
PADA GI 150/20 KV GARUDA SAKTI MENGGUNAKAN METODE
FUZZY LOGIC

SKRIPSI

HIDAYATULLAH
NPM : 2310017111037

Dipertahankan Di Depan Penguji Skripsi
Program Strata Satu (S-1) Pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta
Hari : Minggu, 16 Februari 2025

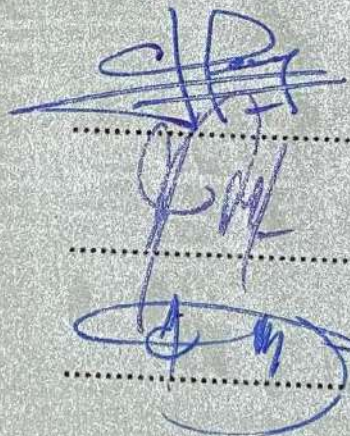
No. Nama

Tanda Tangan

1. **Ir. Cahayahati, MT**
(Ketua dan Penguji)

Dr. Hidayat, S.T., M.T., IPM
(Penguji)

2. **Ir. Arnita, MT**
(Penguji)



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa ini sebagian maupun keseluruhan Skripsi saya dengan judul "Analisis Minyak Isolasi Transformator Daya Pada Gi 150/20 Kv Garuda Sakti Menggunakan Metode Fuzzy Logic" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Padang, 24 Februari 2025


NPM : 2310017111037

ABSTRACT

Transformer insulating oil is the most important part that needs to be properly maintained, which must meet the requirements of SPLN T5.004-2:2016 or IEEE Std C57.104-2008. Dissolved Gas Analysis (DGA) is a test method used to test the condition of insulating oil by taking samples of insulating oil from the transformer unit to determine the types of gases dissolved in the insulating oil. DGA testing is one of the preventive maintenance steps for transformers. The DGA test results on the insulating oil conducted by PLN only consider the TDCG (Total Dissolved Combustible Gas) results. This method sums the concentrations of several types of flammable gases contained in transformer insulating oil such as hydrogen, methane, ethane, ethylene, acetylene, and carbon monoxide. The method used to determine the condition of transformer insulating oil uses Fuzzy Logic on Matlab Simulink. The analysis of the TDCG method using this fuzzy logic is carried out for insulating oil transformer 1 to 4 at the 150/20 kV Garuda Sakti Substation.

The output from fuzzy logic for the condition of insulating oil transformer 1 to 4 after being given input from six types of gas concentrations contained in the insulating oil shows a value of '1'. This result indicates that the condition of transformer insulating oil 1 to 4 according to IEEE Std C57.104-2008 transformer risk classification is in condition 1.

The analysis results show that using fuzzy logic, the determination of the state/risk classification of transformer insulating oil recommended according to IEEE Std C57.104-2008 becomes more accurate and the fault type can be detected faster.

Keywords : Transformator, Minyak Isolasi Transformator, *Dissolved Gas Analysis* (DGA), *Fuzzy Logic*, *Total Dissolve Combustible Gas* (TDCG), IEEE Std C57.104-2008

ABSTRAK

Minyak isolasi transformator merupakan bagian paling utama yang perlu dilakukan pemeliharaan dengan baik, yang mana minyak isolasi ini harus memenuhi persyaratan SPLN T5.004-2:2016 atau IEEE Std C57.104-2008. *Dissolved Gas Analysis* (DGA) merupakan suatu metode pengujian yang dilakukan untuk menguji keadaan minyak isolasi dengan cara mengambil sampel minyak isolasi dari unit transformator untuk mengetahui jenis gas yang terlarut dalam minyak isolasi tersebut. Pengujian DGA merupakan salah satu langkah *preventif maintenance* terhadap transformator. Hasil pengujian DGA pada minyak isolasi yang dilakukan PLN hanya mempertimbangkan hasil TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*). Metode ini adalah metode yang menjumlahkan konsentrasi beberapa jenis gas yang mudah terbakar yang terkandung dalam minyak isolasi transformator seperti gas hidrogen, metana, etana, etilen, asetilena, dan karbon monoksida. Metode yang digunakan untuk menentukan kondisi minyak isolasi transformator menggunakan *Fuzzy Logic* pada Matlab simulink. Analisis hasil metode TDCG menggunakan logika fuzzy ini dilakukan untuk minyak isolasi transformator 1 s/d 4 di Gardu Induk 150/20 kV Garuda Sakti.

Hasil keluaran logika fuzzy untuk keadaan minyak isolasi transformator 1 s/d 4 setelah diberikan variabel input dari enam jenis konsentrasi gas yang terkandung dalam minyak isolasi menunjukkan nilai “1”. Hasil ini menunjukkan bahwa keadaan minyak isolasi transformator 1 s/d 4 menurut IEEE Std C57.104-2008 klasifikasi risiko pada transformator berada pada kondisi 1.

Dari hasil analisis menunjukan bahwa dengan menggunakan logika fuzzy, penentuan keadaan/klasifikasi risiko minyak isolasi transformator yang disarankan menurut IEEE Std C57.104-2008 menjadi lebih akurat dan tipe *fault* dapat diketahui lebih cepat.

Kata Kunci : Transformator, Minyak Isolasi Transformator, *Dissolved Gas Analysis* (DGA), *Fuzzy Logic*, *Total Dissolve Combustible Gas* (TDCG), IEEE Std C57.104-2008

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-2
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Manfaat Penelitian	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Penelitian	II-4
2.2 Landasan Teori	II-8
2.2.1 Transformator	II-8
2.2.2 Konstruksi Transformator	II-8
2.2.3 Prinsip Kerja Transformator	II-10
2.2.4 Transformator Fasa Tunggal	II-11
2.2.5 Transformator Tiga Fasa	II-11
2.2.6 Minyak Transformator	II-12
2.2.7 Jenis-Jenis Minyak Transformator	II-15
2.2.8 Gas-gas Penyebab Gangguan	II-16
2.2.9 Jenis-jenis Kegagalan Transformator Akibat Kontaminasi Minyak Isolasi	II-16
2.2.10 <i>Dissolved Gas Analysis</i> (DGA)	II-17
2.2.11 Karakteristik Tegangan Tembus Pada Minyak Isolasi	II-20
2.2.12 Logika Fuzzy	II-21
2.2.12.1 Sistem Fuzzy	II-21
2.3 Hipotesis	II-23
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Alat Dan Bahan Penelitian	III-24
3.1.1 Alat Penelitian	III-24
3.1.2 Bahan Penelitian	III-24
3.2 Alur Penelitian	III-24
3.3 Pengumpulan Data	III-26
3.3.1 Lokasi Pengambilan Data	III-27

3.3.2 Pengujian DGA	III-28
3.3.3 Metode TDCG (<i>Total Dissolved Combustible Gases</i>)	III-29
3.3.4 Metode Ratio Doernenburg	III-31
3.3.5 Metode Ratio Roger's	III-32
3.4 Pengolahan Data	III-34
3.4.1 Rancangan Fuzzy	III-34

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Transformator	IV-37
4.2 Pengujian DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>)	IV-38
4.3 Hasil Pengujian DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>)	IV-41
4.4 Pengolahan Data	IV-43
4.4.1 Rancangan Fuzzy	IV-49
4.4.2 Pengujian Sistem Fuzzy	IV-54
4.5 Analisa	IV-60

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	V-61
5.2 Saran	V-62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe Transformator	II-9
Gambar 2.2 Transformator	II-9
Gambar 2.3 Transformator Fasa Tunggal	II-11
Gambar 2.4 Transformator Tiga Fasa	II-12
Gambar 2.5 Minyak Transformator	II-12
Gambar 2.6 Alat Uji Dissolved Gas Analysis	II-18
Gambar 2.7 Skema Chromatography	II-19
Gambar 3.1 Gardu Induk 150 kV Garuda Sakti	III-27
Gambar 3.2 Name Plate Transformator 60 MVA	III-28
Gambar 3.3 Diagram Kerja Gas Chromatograph	III-29
Gambar 3.4 Batas Konsentrasi Key Gas Terlarut	III-30
Gambar 3.5 Diagram Alir Metode Ratio Doernenburg	III-31
Gambar 3.6 Batas Konsentrasi L1	III-32
Gambar 3.7 Doernenburg Ratio	III-32
Gambar 3.8 Diagram Alir Metode Rasio Roger's	III-33
Gambar 3.9 Roger's Ratio	III-33
Gambar 3.10 Fungsi Keanggotaan Input	III-34
Gambar 3.11 Fungsi Keanggotaan Output	III-35
Gambar 4.1 Transformator 150/20 kV Garuda Sakti	IV-37
Gambar 4.2 <i>Name plate Transformator 60 MVA</i>	IV-38
Gambar 4.3 SHIMADZU / GC-2014	IV-39
Gambar 4.4 Skema <i>chromatography</i>	IV-40
Gambar 4.5 Grafik Pengujian DGA Transformator 1	IV-42
Gambar 4.6 Grafik Pengujian Karakteristik Transformator 1	IV-42
Gambar 4.7 Grafik Pengujian DGA Transformator 2	IV-44
Gambar 4.8 Grafik Pengujian Karakteristik Transformator 2	IV-44
Gambar 4.9 Grafik Pengujian DGA Transformator 3	IV-46
Gambar 4.10 Grafik Pengujian Karakteristik Transformator 3	IV-46

Gambar 4.11 Grafik Pengujian DGA Transformator 4	IV-48
Gambar 4.12 Grafik Pengujian Karakteristik Transformator 4	IV-48
Gambar 4.13 Fungsi Keanggotaan Input Gas pada Matlab	IV-49
Gambar 4.14 Fungsi Keanggotaan Output Kondisi Minyak Isolasi	IV-52
Gambar 4.15 Hasil Logika Fuzzy untuk Transformator 1 Tahun 2022	IV-54
Gambar 4.16 Hasil Logika Fuzzy untuk Transformator 1 Tahun 2024	IV-55
Gambar 4.17 Hasil Logika Fuzzy untuk Transformator 2 Tahun 2022	IV-56
Gambar 4.18 Hasil Logika Fuzzy untuk Transformator 2 Tahun 2024	IV-56
Gambar 4.19 Hasil Logika Fuzzy untuk Transformator 3 Tahun 2022	IV-57
Gambar 4.20 Hasil Logika Fuzzy untuk Transformator 3 Tahun 2024	IV-58
Gambar 4.21 Hasil Logika Fuzzy untuk Transformator 4 Tahun 2022	IV-59
Gambar 4.22 Hasil Logika Fuzzy untuk Transformator 4 Tahun 2024	IV-59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Spesifikasi Minyak Transformator	II-13
Tabel 2.2 Kondisi Level Minyak Transformator	II-13
Tabel 2.3 Jenis Gas Yang Terlarut Dalam Minyak Isolasi	II-19
Tabel 2.4 Standar IEC 60156	II-21
Tabel 3.1 <i>Flowchart</i> Alur Penelitian	III-26
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Transformator 1 GI 150 kV Garuda Sakti	IV-41
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Transformator 2 GI 150 kV Garuda Sakti	IV-43
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Transformator 3 GI 150 kV Garuda Sakti	IV-45
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Transformator 4 GI 150 kV Garuda Sakti	IV-47
Tabel 4.2 <i>Sugest Fault Diagnosis</i>	IV-50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik di Provinsi Riau terdiri dari sistem interkoneksi dan isolated. Sistem interkoneksi 150 kV Riau (Sistem Riau) merupakan bagian dari sistem Sumatera yang melayani sebagian besar pelanggan di provinsi Riau khususnya di Kota Pekanbaru. Beban puncak tertinggi Riau pada tahun 2023 ialah sebesar 1.330 MW[1], sedangkan beban puncak tertinggi Kota Pekanbaru pada tahun 2023 ialah sebesar 553 MW[2].

Merujuk pada pasal 28 dan pasal 29 undang-undang nomor 30 tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan, PLN selaku Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk kepentingan umum wajib menyediakan tenaga listrik secara terus-menerus, dalam jumlah yang cukup dengan mutu dan keandalan yang baik. Dengan demikian PLN harus mampu melayani kebutuhan tenaga listrik saat ini maupun di masa yang akan datang agar PLN dapat memenuhi kewajiban yang diminta oleh undang-undang tersebut. Sebagai langkah awal PLN harus dapat memperkirakan kebutuhan tenaga listrik serta kemampuan peralatan-peralatan tenaga listrik paling tidak hingga 10 tahun ke depan[3].

Salah satu peralatan tenaga listrik yang sangat dibutuhkan dalam sistem tenaga listrik adalah transformator (trafo). Transformator merupakan komponen terpenting dalam suatu sistem pembangkit tenaga listrik karena dapat menjaga agar kebutuhan listrik dapat terpenuhi secara terus-menerus. Secara umum pada suatu transformator tegangan tinggi terdapat beberapa bagian utama yaitu, inti besi, kumparan transformator, bushing, peralatan proteksi (berbagai macam rele), tangki konservator dan sistem isolasi berupa isolasi cair (minyak transformator) dan isolasi padat (kertas/selulosa)[4].

Minyak isolasi transformator merupakan bagian paling utama yang perlu dilakukan pemeliharaan dengan baik, yang mana minyak isolasi ini harus memenuhi persyaratan SPLN T5.004-2:2016 atau IEC 60296:2012 dibuktikan dengan laporan uji dari laboratorium PLN[5]. PLN memiliki banyak standar untuk pengujian minyak isolasi baik minyak isolasi baru maupun minyak isolasi

yang telah digunakan (pemeliharaan), misalnya tegangan tembus, rugi-rugi dielektrik, permitivitas relative dan pengujian dengan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Devita Amalia, Fri Murdiya (2017) dengan judul “ANALISA GAS TERLARUT MINYAK TRANSFORMATOR DAYA 150 KV DENGAN MENGGUNAKAN METODE DUVAL PENTAGON” Penelitian ini menganalisa gas terlarut dalam minyak transformator dengan membandingkan Metode *Duval Triangle* dan Metode *Duval Pentagon* yang mana kesimpulan dari hasil perhitungan nya masih berupa angka-angka.

Hasil penelitian lainnya dilakukan oleh Raisah Anni, Asran, Kartika (2022) dengan judul “ANALISIS KEADAAN MINYAK TRANSFORMATOR MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY BERDASARKAN KADAR GAS TERLARUT” Kesimpulan pada penelitian ini menunjukkan bahwa menggunakan sistem pakar fuzzy lebih efektif dalam menganalisa hasil tes DGA serta dapat lebih optimal dalam mendiagnosis gangguan pada transformator sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan secepat mungkin.

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Analisis Minyak Transformator Daya Pada GI 150/20 kV Garuda Sakti Menggunakan Metode Fuzzy Logic”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan maka penulis merumuskan rumusan masalah, sebagai berikut:

1. Sejauh mana gas-gas yang terdeteksi dalam hasil tes DGA yang terkandung dalam minyak isolasi dapat mempengaruhi kinerja sebuah transformator?

1.3 Batasan Masalah

Agar penulisan skripsi ini dapat terarah dan menghindari pembahasan yang terlalu luas maka penulis membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Pengujian minyak isolasi yang digunakan untuk dilakukan analisa ialah pengujian dengan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*).

2. Data gas yang diberikan oleh PLN menggunakan metode DGA berdasarkan Standar IEEE C57.104-2008.
3. Data yang digunakan adalah data pengujian tahun 2024.
4. Hanya membahas tentang keadaan minyak isolasi transformator.
5. Skripsi ini tidak membahas tentang struktur kimia yang terdapat pada gas-gas yang terdeteksi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa keadaan minyak isolasi hasil tes DGA dengan metode analisa TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) menggunakan logika *fuzzy* pada Matlab Simulink.
2. Memberikan saran/rekomendasi berdasarkan diagnosis yang telah dibuat, tentukan tindakan yang perlu dilakukan, seperti perawatan rutin, penggantian minyak isolasi transformator, atau tindakan pencegahan untuk menghindari kerusakan lebih lanjut.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merupakan tindakan preventif untuk mencegah terjadinya gangguan pada transformator.
2. Penggunaan metode *fuzzy* diharapkan dapat memperoleh hasil analisa keadaan minyak isolasi lebih cepat dan akurat.
3. Dapat menjadi referensi untuk penelitian-penelitian berikutnya mengenai minyak isolasi pada transformator.