



**ANALISIS KONDISI *INTERBUS TRANSFORMER* (IBT) DI GI  
500 KV SURABAYA SELATAN UNTUK PROYEK IBT-4  
CILEGON MENGGUNAKAN METODE *DISSOLVE GAS  
ANALYSIS* (DGA) DAN PERKIRAAN UMUR PAKAI TRAFU**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

ACHMAD LUQMAN NURHAKIM H  
41422120048  
MERCU BUANA

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA  
2023**



**ANALISIS KONDISI *INTERBUS TRANSFORMER* (IBT) DI GI  
500 KV SURABAYA SELATAN UNTUK PROYEK IBT-4  
CILEGON MENGGUNAKAN METODE *DISSOLVE GAS  
ANALYSIS* (DGA) DAN PERKIRAAN UMUR PAKAI TRAFU**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1)

**NAMA : ACHMAD LUQMAN NURHAKIM H  
NIM : 41422120048  
PEMBIMBING : HENDRI, S.T., M.T.**

**MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA  
2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir ini diajukan oleh:

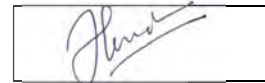
Nama : Achmad Luqman Nurhakim H  
NIM : 41422120048  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Analisis Kondisi *Interbus Transformer* (IBT) di GI 500 kV Surabaya Selatan Untuk Proyek IBT-4 Cilegon Menggunakan Metode *Dissolve Gas Analysis* (DGA) dan Perkiraan Umur Pakai Trafo

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana

Disahkan oleh:

Tanda Tangan

Pembimbing : Hendri, S.T., M.T.  
NIDN : 0315017501



Ketua Penguji : Galang Persada Nurani H, ST. MT. Ph.D  
NIDN : 0304128502



Anggota Penguji : Dian Rusdiyanto, ST. MT  
NIDN : 8898033420



Jakarta, 30 Juli 2024

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.**  
NIDN: 0307037202

Kaprodi S1 Teknik Elektro



**Dr. Eng. Heru Suwoyo, ST. M.Sc**  
NIDN: 0314089201

## **SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY***

Menerangkan bahwa Karya Ilmiah/Laporan Tugas Akhir/Skripsi pada BAB I, BAB II, BAB III, BAB IV dan BAB V atas nama:

**Nama** : **ACHMAD LUQMAN NURHAKIM H**  
**NIM** : **41422120048**  
**Program Studi** : **Teknik Elektro**  
**Judul Tugas Akhir / Tesis** : **ANALISIS KONDISI INTERBUS TRANSFORMER (IBT) DI GI 500 KV SURABAYA SELATAN UNTUK PROYEK IBT-4 CILEGON MENGGUNAKAN METODE DISSOLVE GAS ANALYSIS (DGA) DAN PERKIRAAN UMUR PAKAI TRAFU**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Rabu, 07 Agustus 2024** dengan hasil presentase sebesar **26%** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

**MERCU BUANA**

Jakarta, 08 Agustus 2024

Administrator Turnitin,



**Saras Nur Pratiha, S.Psi., MM**

## HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Achmad Luqman Nurhakim H  
N.I.M : 41422120048  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : Analisis Kondisi *Interbus Transformer* (IBT) di GI 500 kV  
Surabaya Selatan Untuk Proyek IBT-4 Cilegon  
Menggunakan Metode *Dissolve Gas Analysis* (DGA) dan  
Perkiraan Umur Pakai Trafo

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan plagiat, serta semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar. Apabila ternyata ditemukan di dalam Laporan Tugas Akhir saya terdapat unsur plagiat, maka saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Jakarta, 30 Juli 2024

MERCU BUANA



Achmad Luqman Nurhakim H

## ABSTRAK

Kondisi sistem ketenagalistrikan dan pembebanan *Interbus Trasnformer* (IBT) pada subsistem Cilegon arah Suralaya tahun 2023 sudah sangat berkembang pesat. Berdasarkan data Rencana Operasi Tahunan (ROT) 2023 oleh PLN UIP2B menyebutkan kondisi pembebanan pada IBT Unit 1 dan 2 di Gardu Induk 500 kV Cilegon mencapai 60 % dan IBT Unit 3 mencapai 76 %. Hal tersebut disebabkan semakin banyaknya konsumen-konsumen tegangan tinggi yang masuk kedalam sistem ketenagalistrikan di sisi Suralaya sehingga kemampuan pembebanan pada IBT eksisting cukup tinggi, sehingga diperlukan penambahan *Interbus Transformer* (IBT) pada subsistem Cilegon dalam menunjang evakuasi daya dan kehandalan sistem ketenagalistrikan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi dari material IBT di Gardu Induk 500 kV Surabaya Selatan yang belum pernah beroperasi selama lebih dari 10 tahun, dan direncanakan akan digunakan untuk Proyek *Ekstension* IBT-4 di Gardu Induk 500 kV Cilegon. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa terhadap kondisi minyak transformator berdasarkan hasil pengujian *Dissolve Gas Analysis* (DGA) dengan metode *Total Dissolve Combustible Gas* (TDCG), *Rogers Ratio*, dan *Duval Triangle*. Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk memperkirakan umur pakai dari IBT tersebut berdasarkan prediksi pembebanan yang diberikan.

Dari hasil analisa DGA menggunakan metode TDCG, nilai TDCG terbesar terdapat pada Trafo fasa R adalah 226 ppm, fasa S sebesar 227 ppm, dan fasa T sebesar 184 ppm sehingga, mengacu pada standar IEEE dapat dikategorikan bahwa kondisi trafo berada dalam kondisi 1 (normal). Hasil analisa metode *rogers ratio* menunjukkan pada trafo fasa R nilai rasio terbesar adalah 0,12, pada trafo fasa S nilai rasio terbesar adalah 0,57, dan pada fasa T nilai rasio terbesar yaitu 0,06 sehingga ketiganya masih berada pada kriteria *Unit Normal*. Analisa menggunakan metode *duval triangle* 1 juga menunjukkan kondisi trafo berada dalam keadaan *Unit normal operasi* meskipun secara matematis hitungan rasio terbesar pada fasa R adalah 100% pada persentase CH<sub>4</sub>, fasa S 80% pada persentase CH<sub>4</sub>, dan fasa T 85,71% pada persentase CH<sub>4</sub>, hal tersebut dikarenakan konsentrasi kandungan gas CH<sub>4</sub> yang sangat kecil sehingga tidak terlalu mempengaruhi terhadap potensi kegagalan. Perkiraan umur pakai IBT berbanding terbalik dengan pembebanan dan suhu *hotspot* trafo, pada perkiraan beban 100% suhu *hotspot* berada di 108 °C dengan estimasi umur pakai IBT adalah 6,32 tahun, pada beban 90% suhu *hotspot* berada di 103,76 °C dengan estimasi umur pakai sebesar 10,28 tahun, dan pada beban 80% suhu *hotspot* berada di 98,55 °C dengan estimasi umur pakai sebesar 18,66 tahun.

**Kata kunci** – *Interbus Trasnformer, Dissolve Gas Analysis, hotspot, top oil*



## ABSTRACT

*The condition of power system and load on the Interbus Transformer in the Cilegon subsystem toward the Suralaya in 2023 has progressed rapidly. According to the Yearly Operation Planning (ROT) 2023 by PLN UIP2B mentioned the load condition on IBT Unit 1 and 2 at 500 kV Cilegon Substation has reached until 60% and the load condition of IBT Unit 3 has 76 %. This is due to the increasing number of high-voltage consumers connecting to the power system grid in Suralaya that made the load capacity of IBT existing quite high. Therefore, its necessary to add an Interbus Transformer (IBT) to the Cilegon grid subsystem in order to support power evacuation and the reliability of electricity system.*

*This paper aims to identify the condition of the IBT materials at the 500 kV Surabaya Selatan Substation, which have been unused for more than 10 years and are planned to be used for Extension IBT-4 Project at the 500 kV Cilegon Substation. The study involves analysis of the transformer oil condition based on Dissolved Gas Analysis (DGA) result using Total Dissolve Combustible Gas (TDCG), Rogers Ratio, and Duval Triangle methods. Subsequently, calculations are performed to estimate the remaining lifespan of the IBT based on provided loads prediction.*

*From DGA analysis using the TDCG method, the highest TDCG value are found in Phase R at 226 ppm, Phase S at 227 ppm, and Phase T at 184 ppm, which according to the IEEE standards it is categorize that the transformer is within condition 1 (normal). By analysis using rogers ratio method shown that in the phase R the highest ratio is 0,12, in the phase S is 0,57, and in the Phase T is 0,06, it means that all of the transformator phase is within the "Unit Normal" criteria, and by anlysis using duval triangle methods also indicates the transformer is in normal operational condition even though in mathematically that the result of ratio CH<sub>4</sub> in Phase R is 100%, in the Phase S is 80%, and in the Phase T is 85,71%. But, due to the less of gas concentration contained in the oil transformator, it is still comply to the normal operational condition criteria and has less affected to the fault implication of transformator. The estimate lifespan of the IBT inversely correlates with the load and hotspot temperature, at 100% load the hotspot temperature is 108 °C with an estimated lifespan around 6,32 years, at 90% load the hotspot temperature is 103,76 °C with an estimated lifespan around 10,28 years, and at 80% loads the hotspot temperature is 98,55 °C with an estimated lifespan of 18,66 years*

**Keywords** - *Interbus Trasnformer, Dissolve Gas Analysis, hotspot, top oil*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir dengan judul “**ANALISIS KONDISI *INTERBUS TRANSFORMER (IBT) DI GI 500 KV SURABAYA SELATAN UNTUK PROYEK IBT-4 CILEGON MENGGUNAKAN METODE *DISSOLVE GAS ANALYSIS (DGA) DAN PERKIRAAN UMUR PAKAI TRAFU****”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) Teknik Elektro Universitas Mercu Buana Jakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan dorongan dari berbagai pihak yang dengan tulus penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak, Mamah, Keluarga, dan sahabat-sahabat yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta dukungannya
2. Istri tercinta Intan Pipi Tipani, yang selalu setia memberi semangat dan dukungan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Anak-anak Ananda Ayesha Shareen Nurhakim dan Nayyara Kaureen Nurhakim, yang selalu menjadi motivasi dan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini
4. Bapak Dr. Eng. Heru Suwoyo, ST, M.Sc, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Mercu Buana
5. Bapak Hendri, S.T., M.T, selaku Dosen yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama penyelesaian Tugas Akhir
6. Bapak Muhammad Hafidz Ibnu Hajar, ST., M.Sc, selaku dosen penanggung jawab Tugas Akhir Universitas Mercu Buana
7. Keluarga dan rekan-rekan PT PLN (Persero) UIP JBB Bidang Operasi Konstruksi 1 dan UPP JBB 1 yang telah memberi dukungan kepada penulis dalam proses penelitian Tugas Akhir ini.



8. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan guna perbaikan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa Universitas Mercu Buana, rekan mahasiswa universitas lainnya, semua pembaca, dan bagi penulis khususnya.



Jakarta, 30 Juli 2024

Penulis

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT KETERANGAN HASIL <i>SIMILARITY</i> .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI .....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR INDEKS PERSAMAAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penulisan .....	3
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Kajian Penelitian .....	6
2.2 Transformator Tenaga .....	11
2.2.1. Pengertian dan Prinsip Kerja Transformator Tenaga.....	11
2.2.2. Bagian Utama Transformator dan Fungsinya .....	13
2.2.3. Minyak Transformator .....	15
2.2.4. Jenis Kegagalan Transformator Akibat Kontaminasi Minyak Isolasi 18	
2.2.5. <i>Dissolve Gas Analysis (DGA)</i> .....	21
2.2.6. Analisis perkiraan umur Trafo .....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1. Alur Penelitian.....	31
3.2. <i>Tools Analysis (Root Cause Problem Solving)</i> .....	32
3.3. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	33
3.3.1. Lokasi Penelitian.....	33

3.3.2.	Waktu Penelitian .....	33
3.4.	Metodologi Penelitian .....	34
3.4.1.	Metode Pengumpulan Data .....	34
3.5.	Tahapan Penelitian .....	35
3.5.1.	Tahapan Pengambilan Data .....	35
3.5.2.	Tahapan Pengolahan Data.....	35
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....		37
4.1.	Data Pengujian <i>Dissolve Gas Analysis</i> (DGA) .....	37
4.1.1.	Grafik Pengujian DGA Interbus Transformator .....	39
4.1.2.	Analisa Pengujian DGA Metode TDCG.....	41
4.1.3.	Analisa Pengujian DGA Metode Duval Triangle 1 .....	41
4.1.4.	Analisa Pengujian DGA Metode Rogers Ratio.....	44
4.2.	Perbandingan Metode Interpretasi Data Pengujian DGA .....	45
4.3.	Analisa Perkiraan Umur Transformator .....	46
4.3.1.	Perhitungan dengan perkiraan beban 100%.....	46
4.3.2.	Menghitung perbandingan rugi-rugi .....	46
4.3.3.	Kenaikan suhu stabil <i>top oil</i> .....	47
4.3.4.	Selisih suhu antara <i>hotspot</i> dan <i>top oil</i> .....	47
4.3.5.	Menghitung suhu <i>hotspot</i> .....	48
4.3.6.	Menghitung laju penuaan <i>thermal</i> relatif.....	48
4.3.7.	Menghitung susut umur (L) .....	49
4.3.8.	Perhitungan perkiraan umur transformator .....	49
4.3.9.	Perkiraan umur transformator dengan beban konstan.....	50
BAB V PENUTUP.....		52
5.1.	Kesimpulan.....	52
5.2.	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA .....		55
LAMPIRAN.....		58
Lampiran 1 – Hasil Pengecekan <i>Turnitin</i> .....		58
Lampiran 2 – Hasil Pengujian <i>Dissolve Gas Analysis</i> (DGA).....		59

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 – Inti besi transformator dengan dua kumparan (Harlow, 2004) .....	12
Gambar 2.2 – Detail <i>arrangement</i> bushing Trafo IBT (Dokumentasi pribadi) .....	14
Gambar 2.3 – <i>General Arrangement</i> Interbus Transformator (Dokumentasi Pribadi) .....	15
Gambar 2.4 – Tingkat perbandingan evolusi gas dari minyak sebagai fungsi energi yang terdekomposisi (M, J, S, & R, 2004) .....	18
Gambar 2.5 – Presentase gas H <sub>2</sub> memiliki konsentrasi terbesar saat terjadi PD (Wannapring, Suwanasri, & Suwanasri, 2016) .....	19
Gambar 2.6 – Gas yang menjadi kunci saat terjadi <i>arcing</i> adalah C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (Wannapring, Suwanasri, & Suwanasri, 2016) .....	20
Gambar 2.7 – <i>Thermal degradation</i> akan memproduksi gas ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) (Wannapring, Suwanasri, & Suwanasri, 2016) .....	20
Gambar 2.8 – <i>Thermal aging</i> akan mengakibatkan kertas isolasi memproduksi gas CO (Wannapring, Suwanasri, & Suwanasri, 2016) .....	21
Gambar 2.9 – Metode <i>Duval Triangle 1</i> .....	25
Gambar 3.1 – Diagram alur penelitian .....	31
Gambar 3.2 – Diagram blok <i>Root Cause Failure Analysis</i> (RCFA) .....	33
Gambar 4.1 – Grafik Pengujian DGA Fasa R .....	39
Gambar 4.2 – Grafik Pengujian DGA Fasa S .....	40
Gambar 4.3 – Grafik Pengujian DGA Fasa T .....	40
Gambar 4.4 – Grafik kenaikan suhu <i>hotspot</i> terhadap pembebanan .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 – Kajian Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 2.2 – Minimum volume <i>sample</i> yang diambil untuk pengujian Transformator (IEEE Standard C57.152-2013, 2013) .....	15
Tabel 2.3 – Batasan kondisi dan perlakuan terhadap <i>Total Dissolved Gas</i> (TDCG) .....	23
Tabel 2.4 – Batasan gangguan pada metode <i>Duval Triangle 1</i> (IEEE Std, 2019) .....	25
Tabel 2.5 – Karakteristik gangguan pada metode <i>Duval Triangle 1</i> .....	26
Tabel 2.6 – Metode <i>Rogers Ratios</i> (IEEE Std, 2019) .....	26
Tabel 4.1 – Data Interbus Transformator Gardu Induk Surabaya Selatan.....	37
Tabel 4.2 – Hasil pengujian dissolve gas analysis Trafo IBT Fasa R.....	38
Tabel 4.3 – Hasil pengujian dissolve gas analysis Trafo IBT Fasa S .....	38
Tabel 4.4 – Hasil pengujian dissolve gas analysis Trafo IBT Fasa T .....	39
Tabel 4.5 – Interpretasi Analisa Hasil Uji Metode TDCG Trafo IBT .....	41
Tabel 4.6 – Analisa Hasil Uji Metode Duval Triangle 1 .....	42
Tabel 4.7 – Klasifikasi Fault Berdasarkan Metode Analisa Duval Triangle 1 .....	43
Tabel 4.8 – Hasil Uji Metode Rogers Ratio.....	45
Tabel 4.9 – Interpretasi Analisa Hasil Uji dengan Metode Rogers Ratio.....	45
Tabel 4.10 – Perbandingan Hasil dari tiga metode DGA.....	46
Tabel 4.11 – Perkiraan umur trafo IBT untuk beban konstan.....	50

## DAFTAR INDEKS PERSAMAAN

Persamaan ( 2.1 ).....	12
Persamaan_( 2.2 ).....	13
Persamaan_( 2.3 ).....	24
Persamaan_( 2.4 ).....	24
Persamaan_( 2.5 ).....	24
Persamaan_( 2.6 ).....	27
Persamaan_( 2.7 ).....	27
Persamaan_( 2.8 ).....	27
Persamaan_( 2.9 ).....	28
Persamaan_( 2.10 ).....	28
Persamaan_( 2.11 ).....	29
Persamaan_( 2.12 ).....	29
Persamaan_( 2.13 ).....	30

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA