

SKRIPSI
DIAGNOSIS KONDISI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
MENGGUNAKAN METODE *TOTAL DISSOLVED COMBUSTIBLE GAS*
DAN DUVAL'S TRIANGLE



Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Program Studi
Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas
Muhammadiyah Palembang

Dipersiapkan dan Disusun Oleh

DHANY RAFIKO
132021002

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG
PALEMBANG
2025

SKRIPSI
DIAGNOSIS KONDISI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
MENGGUNAKAN METODE *TOTAL DISSOLVED COMBUSTIBLE GAS*
DAN DUVAL'S TRIANGLE



Merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Telah dipertahankan di depan dewan penguji
22 Agustus 2025

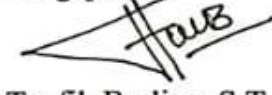
Dipersiapkan dan Disusun Oleh
DHANY RAFIKO

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing 1


Dr. Bengawan Alfaresi, S.T., M.T., IPM
NIDN: 0205118504

Penguji 1


Taufik Barlian, S.T., M.Eng
NIDN: 0218017202

Pembimbing 2


Dr. Foby Ardianto, S.T., M.Cs
NIDN: 0207038101

Penguji 2


Muhammad Húrainah, S.T., M.T
NIDN: 0228098702

Menyetujui

Dekan Fakultas Teknik


Ir. A. Junaidi, M.T
NIDN: 0202026502

Menyetujui

Ketua Program Studi Teknik Elektro


Dr. Foby Ardianto, S.T., M.Cs
NIDN: 0207038101



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat juga karya atau pendapat yang pernah ditulis atau di terbitkan orang, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Palembang, 17 Agustus 2025

Penulis,



Dhany Rafiko

132021002

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

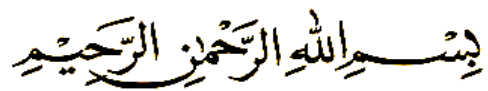
Motto

1. “Sejatinya kita di ciptakan hanya untuk belajar dan beribadah”
(Dhany Rafiko).
2. “Aut faciam aut viam inveniam” Aku akan membuat jalan, atau aku akan menemukan jalan” (Hannibal).
3. “Investasi terbaik di masa muda adalah ilmu yang bermanfaat”
(Dhany rafiko).
4. “Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya beserta kesulitan pasti ada kemudahan” (Al Insyirah 5-6)
5. “Orang yang berusaha dengan sungguh-sungguh, maka Allah akan tunjukan jalan-jalan-nya. Sesungguhnya Allah benar-benar bersama orang yang berbuat kebaikan” (Al Ankabut 69).

Kupersembahkan skripsi kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat, nikmat dan karunianya sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini.
2. Kepada orangtuaku, Bapak Rasyid dan Ibu Rosita beserta saudara saya, Prima Saras Mita, Reksa Dana Ghayatri dan Kurnia Fitrah Arafa yang telah mendoakan dan memberi support selama proses perkuliahan.
3. Kepada Pembimbing I Skripsi saya Bapak Dr. Bengawan Alfaresi, S.T., M.T. IPM, yang telah membimbing dalam pembuatan skripsi sekaligus menjadi motivator saya. Serta Pembimbing II saya Bapak DR. Feby Ardianto, S.T., M.Cs, yang telah membimbing saya dalam pembuatan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Elektro dan Staf Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Palembang.
5. Almamater hijau kebanggaan “Universitas Muhammadiyah Palembang”.

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **DIAGNOSIS KONDISI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE TOTAL DISSOLVED COMBUSTIBLE GAS DAN DUVAL'S TRIANGLE.**

Yang disusun guna untuk syarat mendapatkan gelar sarjana pada program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

Pada kesempatan ini penulis secara khusus mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada,

- Bapak Dr. Bengawan Alfaresi, S.T., M.T, selaku Pembimbing I
- Bapak Dr. Feby Ardianto , S.T., M.Cs, selaku Pembimbing II

Dan tak lupa pula penulis ucapkan terimakasih kepada,

1. Bapak Prof. Dr. Abid Dzajuli, S.E., M.M, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang.
2. Bapak Ir. A. Junaidi, M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
3. Bapak Dr. Feby Ardianto, S.T., M.Cs, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Bapak Muhammad Hurairah, S.T., M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
5. Bapak Dan Ibu Staf Dosen Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

6. Bapak Dan Ibu Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
7. Rekan-Rekan Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
8. Bapak R. Iwan Winaya Mahdar, S.E., M.M, selaku Executive General Manager PT ANGKASA PURA INDONESIA Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang.
9. Bapak Tri Baktiono, S.T., Selaku Manager of *Airport Equipment* Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang
10. Bapak Almuzani Selaku *Equipment Head of Electrical & Mechanical Facility* Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang
11. Bang Sopar Harin Sitorus, Bang Bahder Johan, Mas Defri Syahputra, Kak Akhmad Sapta Nugraha, Mas Hari Pratama dan Uda Maswardi selaku *Supervisor Electrical & Mechanical Facility* Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang.
12. Mas Hardi Wiyoko, Mba Pratiwi Agustina, Mba Eka, Bang Syarif Hidayatullah, Bang Agung Jaya Wiratama dan Bang Hanif Firdaus.
13. Bapak, Mas, Mba Team *Mechanical* Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang.
14. Bapak, Mas, Mba Team Plumbing Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang.
15. Bapak, Mas, Mba Team HV/AC Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang.
16. Semua pihak Bandar Udara Sultan Mahmud Badruddin II Palembang yang tidak bisa PENULIS sebutkan satu persatu
17. Bapak Rasyid selaku Orang Tua yang selalu meberikan pengalaman dan pelajaran dalam menjalani kehidupan.
18. Ibu Rosita selaku Orang tua yang selalu menjadi support sistem selama perjalanan ini.
19. Keluarga besar yang telah menjadi buku kehidupan.

Yang telah banyak membantu penulis baik secara moril maupun material dalam menyelesaikan skripsi ini, semoga amal baik yang di berikan kepada penulis mendapatkan imbalan yang sesuai dari Allah SWT. Penulis menyadari penulisan skripsi ini jauh dari sempurna, oleh karna itu kritik dan saran dari pembaca akan penulis terima dengan sangat senang hati. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi rekan-rekan pembaca di program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.

Palembang, 13 Februari 2025
Penulis,



Dhany Rafiko
132021002

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendiagnosis kondisi pada transformator distribusi menggunakan metode *dissolved gas analysis*, dengan pendekatan *total dissolved combustible gas* dan Duval's Triangle. Penelitian ini difokuskan pada transformator distribusi di bandara internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, dengan tujuan untuk mendeteksi gangguan dan mendiagnosis kondisi transformator atau kerusakan internal yang terjadi pada transformator berdasarkan analisis gas terlarut dalam minyaknya. Hasil dari pengujian *total dissolved combustible gas* menunjukkan bahwa transformator mengalami peningkatan kadar gas mudah terbakar pada Januari dan Februari 2025, yang menandakan kondisi "*caution*" dan membutuhkan perhatian lebih lanjut. Pada bulan Maret dan April 2025, pengujian menunjukkan penurunan kadar gas terlarut, namun suhu transformator tetap melebihi ambang batas yang normal. Melalui analisis Duval's Triangle, diketahui bahwa pada bulan Januari dan Februari, transformator mengalami *thermal fault* pada suhu antara 300°C hingga 700°C dan mengalami *arcing*. Sementara itu, pada pengujian Maret dan April, kondisi transformator menunjukkan perbaikan dengan gas metana yang mendominasi menandakan bahwa transformator beroperasi dengan lebih baik. Berdasarkan hasil analisis ini, transformator masih dalam kondisi baik dan disarankan untuk melakukan pemantauan berkala terhadap kondisi transformator menggunakan metode *dissolved gas analysis*, serta melaksanakan langkah-langkah perawatan *preventif* guna meningkatkan keandalan dan memperpanjang umur operasional transformator.

Kata kunci: Dissolved Gas Analysis (DGA), Total Dissolved Combustible Gas (TDCG), Duval's Triangle, gangguan transformator, minyak transformator.

ABSTRACT

This study aims to diagnose the condition of distribution transformers using the dissolved gas analysis method, with a total dissolved combustible gas and Duval's Triangle approach. This study focuses on distribution transformers at Sultan Mahmud Badaruddin II International Airport in Palembang, with the aim of detecting disturbances and diagnosing the condition of transformers or internal damage that occurs in transformers based on the analysis of dissolved gases in the oil. The results of the total dissolved combustible gas testing indicate that the transformer experienced an increase in combustible gas levels in January and February 2025, indicating a “caution” condition and requiring further attention. In March and April 2025, the testing showed a decrease in dissolved gas levels, but the transformer temperature remained above the normal threshold. Through Duval's triangle analysis, it was found that in January and February, the transformer experienced a thermal fault at temperatures between 300°C and 700°C and experienced arcing. Meanwhile, in the March and April tests, the transformer's condition showed improvement with methane gas dominating, indicating that the transformer was operating more efficiently. Based on these analysis results, the transformer is still in good condition, and it is recommended to conduct regular monitoring of the transformer's condition using the dissolved gas analysis method, as well as implementing preventive maintenance measures to enhance reliability and extend the operational lifespan of the transformer.

Keywords: Dissolved Gas Analysis (DGA), Total Dissolved Combustible Gas (TDCG), Duval's Triangle, transformer faults, transformer oil.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Pembahasan.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Sistem Tenaga Listrik.....	5
2.2. Transformator Distribusi	6
2.3. Bagian-Bagian Transformator	7
2.4. Minyak Transformator.....	10
2.5. Jenis-Jenis Minyak Transformator	11
2.6. Jenis-Jenis Gangguan Internal Pada Transformator	12
2.6.1. Gangguan Termal	12
2.6.2. Gangguan Pelepasan Listrik	12
2.7. <i>Fault Gas</i>	13
2.8. <i>Dissolved Gas Analysis</i>	14
2.9. <i>Syringe</i>	15
2.10. <i>Chromatograph Analyzer</i>	16
2.11. Metode Analisa <i>Dissolved Gas Analysis</i>	16

BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1. Tempat Dan Waktu	25
3.2. Diagram Penelitian	26
3.2. Alat Dan Bahan	28
3.3. Tahap Pengujian Minyak Transformator	28
BAB 4 DATA, PERHITUNGAN, PEMBAHASAN DAN ANALISA	30
4.1. Data	30
4.2. Perhitungan.....	31
4.2.1. Perhitungan Data Uji <i>Dissolved Gas Analysis</i> Menggunakan Metode <i>Total Dissolved Combustible Gas</i>	31
4.2.2. Perhitungan Data Uji <i>Dissolved Gas Analysis</i> Menggunakan Metode Duval's Triangle.....	35
4.3. Pembahasan Dan Analisa	36
4.3.1. Analisa Hasil Uji <i>Dissolved Gas Analysis</i> Menggunakan Metode <i>Total Dissolved Combustible Gas</i>	37
4.3.2. Analisa Hasil Uji <i>Dissolved Gas Analysis</i> Menggunakan Metode Duval's Triangle.....	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan.....	46
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2.2. Transformator Distribusi	7
Gambar 2.3. Minyak Transformator	10
Gambar 2.4. Diagram <i>Fault</i> Gas Terhadap Temperatur Transformator	13
Gambar 2.5. <i>Syringe</i>	15
Gambar 2.6. <i>Cromatograph analyzer</i>	16
Gambar 2.7. Segitiga Duval	20
Gambar 3.1. Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang.....	25
Gambar 3.2. Diagram Penelitian.....	26
Gambar 3.3. Tahap Pengujian Minyak Transformator	28
Gambar 4.1. Trend Konsentrasi Gas	38
Gambar 4.2. Analisis Segitiga Duval Tanggal 05 Januari 2025	40
Gambar 4.3. Analisis Segitiga Duval Tanggal 05 Februari 2025	41
Gambar 4.4. Analisis Segitiga Duval Tanggal 05 Maret 2025	41
Gambar 4.5. Analisis Segitiga Duval Tanggal 05 April 2025	42
Gambar 4.6. Grafik Analisis Segitiga Duval	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Level Kondisi Operasi Transformator	17
Tabel 2.2. Limitasi Konsentrasi Gas Terlarut pada Minyak Traansformator	17
Tabel 2.3. Rekomendasi Operasi Transformator berdasarkan TDCG	18
Tabel 2.4. <i>Diagnosa Fault</i> Duval Triangle	21
Tabel 2.5. Zona Batasan <i>Fault</i> Duval Triangle.....	22
Tabel 3.1. Alat Yang Digunakan.....	28
Tabel 4.1. Data Hasil Uji <i>Chromatograph Analyzer</i>	30
Tabel 4.2. Data Perhitungan Total <i>Dissolved Combustible Gas</i>	32
Tabel 4.3. Data Perhitungan TDCGv	34
Tabel 4.4. Perhitungan Metode Duval Triangle.....	35
Tabel 4.5. Tabel Analisa Hasil Total <i>Dissolved Combustible Gas</i>	37
Tabel 4.6. Analisis Segitiga Duval.....	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pentingnya trafo dalam sistem kelistrikan dari sekian banyak sistem kelistrikan trafo merupakan hal yang terpenting, terutama pada instalasi vital seperti bandara. Bandar udara internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, bandar udara internasional yang melayani ribuan penumpang setiap harinya, sangat bergantung pada pasokan listrik yang andal dan konstan. Kinerja sistem operasional bandara yang vital seperti navigasi udara, penerangan landasan pacu, sistem keamanan, dan fasilitas terminal sangat bergantung pada ketahanan sistem kelistrikan, termasuk trafo. Setiap kegagalan fungsi pada trafo dapat mengakibatkan pemadaman listrik, yang dapat mengganggu operasional bandara atau bahkan membahayakan keselamatan penerbangan. Seiring berjalannya waktu, transformator mulai kehilangan kualitasnya karena faktor-faktor seperti kelebihan beban, kegagalan internal, dan kondisi lingkungan sekitar. Seringkali penurunan kualitas ini dapat diketahui melalui analisis minyak isolasi trafo. Salah satu metode yang teruji efektif untuk mengidentifikasi awal terjadinya masalah transformator adalah dengan analisis gas terlarut. Gas yang timbul akibat degradasi minyak atau gangguan internal terlarut dalam minyak transformator, dan pola tertentu dari gas ini dapat mengindikasikan gangguan tertentu seperti pelepasan muatan parsial, panas berlebih atau bahkan lengkung listrik. (IEEE, 2019).

Penerapan di lapangan, hasil analisis gas terlarut dapat ditafsirkan melalui beberapa metode, salah satunya yang dominan digunakan adalah segitiga Duval. Metode ini terbukti efektif dalam membantu diagnosa kondisi internal transformator, terutama dalam mendeteksi jenis gangguan yang terjadi. Prinsipnya cukup sederhana

konsentrasi tiga gas utama metana (CH_4), etilena (C_2H_4), dan asetilena (C_2H_2) dalam sebuah grafik berbentuk segitiga, yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi pola gangguan seperti dan asetilena (C_2H_2) dalam sebuah grafik berbentuk segitiga, yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi pola gangguan seperti pemanasan berlebih, pelepasan parsial, hingga terjadinya loncatan listrik. Keunggulan dari metode Duval Triangle adalah tampilannya yang visual dan mudah dipahami, sehingga tim teknis dapat lebih cepat dalam mengambil keputusan, baik untuk pencegahan maupun perbaikan pada transformator yang bermasalah (Duval, 2008).

Penggunaan metode *Total Dissolved Combustible Gas* dan Duval's Triangle di bandara operasional seperti bandara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang sangat relevan mengingat infrastruktur tegangan tinggi. Dengan menggabungkan jenis penilaian ini, pengelola fasilitas bandara dapat mengidentifikasi potensi masalah transformator lebih awal, yang pada gilirannya memungkinkan mereka untuk melakukan tindakan perbaikan terbaik yang diperlukan sebelum menjadi masalah serius. Selain itu, mereka dapat memanfaatkan hasil tersebut untuk merencanakan strategi pemeliharaan yang lebih akurat, yang dapat meminimalkan waktu henti sekaligus menjaga agar operasi bandara tetap berjalan. Lebih penting lagi, analisis ini tidak hanya tentang aspek teknis tetapi juga menambah nilai bagi pengelolaan aset infrastruktur bandara. Dengan pengetahuan kondisi aktual pada transformator, manajemen dapat merencanakan investasi/distributor dengan lebih bijaksana. Oleh karena itu, hal ini pada akhirnya menekankan keselamatan, kenyamanan, layanan di bandar udara internasional Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, dan efisiensi operasional secara keseluruhan dengan lebih banyak penghematan anggaran yang ditargetkan untuk operator Bandar udara (Sismantara et al., 2021).

Penerapan metode *Total Dissolved Combustible Gas* dan Duval's Triangle pada analisis *Dissolved Gas Analysis* mampu memberikan deteksi jenis-jenis gangguan yang terjadi pada transformator, seperti *overheating*, *partial discharge*, dan *arcing*. Melalui kombinasi kedua metode ini, identifikasi pola gas terlarut

dalam minyak isolasi dapat dilakukan dengan efisien, sehingga mempermudah pengambilan keputusan dalam pemeliharaan prediktif. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi mahasiswa ataupun teknisi kelistrikan dalam meningkatkan keandalan transformator, memperpanjang umur operasional peralatan, serta meminimalkan risiko kerusakan mendadak yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem distribusi listrik secara keseluruhan.

1.2. Tujuan Pembahasan

1. Memetakan jenis gangguan guna mengetahui gangguan internal yang ada pada transformator.
2. Analisis gas terlarut untuk mengetahui kondisi transformator apakah dalam kondisi baik atau tidak.
3. Merekomendasikan tindakan yang dapat dilakukan berdasarkan standar IEEE C57.104-2008 setelah ditemukan gangguan.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, maka penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas mengenai harmonisa dan tegangan tembus.
2. Tidak membahas mengenai pembebanan yang ada pada transformator.
3. Fokus hanya membahas mengenai gangguan internal.

1.4. Sistematika Penulisan

Tugas skripsi ini memiliki 5 bagian yang masing-masing terdiri sebagai berikut:

BAB 1: PENDAHULUAN

Berisi uraian mengenai latar belakang penelitian yang menjelaskan alasan dilakukannya penelitian ini, serta pentingnya analisis terhadap kondisi transformator distribusi. Pada bab ini juga dijabarkan tujuan penelitian yang ingin dicapai, batasan masalah agar penelitian lebih terfokus, serta sistematika penulisan yang memberikan gambaran umum tentang susunan laporan secara keseluruhan.

BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

Menyajikan landasan teori yang mendukung penelitian. Teori-teori yang dikemukakan mencakup transformator distribusi, karakteristik minyak isolasi, prinsip dasar dissolved gas analysis (DGA), metode Total Dissolved Combustible Gas (TDCG), serta metode Duval's Triangle. Selain itu, pada bab ini juga ditambahkan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan sehingga dapat menjadi pijakan dalam penyusunan analisis dan pembahasan penelitian ini.

BAB 3: METODE PENELITIAN

Menguraikan secara rinci tentang rancangan penelitian yang dilakukan, meliputi tempat dan waktu pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta mekanisme penelitian yang ditempuh. Pada bagian ini dijelaskan pula langkah-langkah analisis yang digunakan dalam mengolah data hasil pengujian minyak isolasi hingga menjadi dasar dalam menentukan kondisi transformator.

BAB 4: DATA, PERHITUNGAN, PEMBAHASAN DAN ANALISA

Berisi hasil pengujian yang diperoleh dari laboratorium berupa data gas terlarut dalam minyak transformator. Data tersebut kemudian diolah melalui metode perhitungan Total Dissolved Combustible Gas dan Duval's Triangle untuk menentukan jenis gangguan internal yang mungkin terjadi. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut dianalisis dan dibahas untuk mengetahui kondisi transformator serta membandingkannya dengan standar yang berlaku.

BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

Menyajikan ringkasan hasil penelitian yang telah diperoleh, berupa kesimpulan mengenai kondisi transformator berdasarkan metode yang digunakan. Selain itu, pada bab ini juga diberikan saran yang dapat dijadikan acuan untuk tindakan pemeliharaan, perbaikan, maupun penelitian lanjutan di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, S., Syakur, A., & Pawenary, ; (2024). Pemanfaatan Limbah Oli Trafo Guna Optimalisasi Maintenance Trafo Dengan Konsep Circular Economy Melalui Proses Purifikasi Di PLN UP3 Bali Utara. *Jurnal Ilmiah*, 16(1), 31–45. <https://doi.org/10.33322/energi.v16i1.2440>
- Afrida, Y., & Fitriono. (2022). Analisa Kondisi Minyak Trafo Berdasarkan Hasil Uji Dissolved Gas Analisis Pada Trafo Daya #1 Di PT.PLN (PERSERO) GARDU INDUK KOTABUMI. *Electrician*, 16(3), 355–358. <https://doi.org/10.23960/elc.v16n3.2408>
- Anni, R., Asran, A., & Kartika, K. (2022). Analisis Keadaan Minyak Transformator Menggunakan Metode Logika Fuzzy Berdasarkan Kadar Gas Terlarut. *Urnal Pendidikan Tambusai*, 6(2), 16200–16207. <https://doi.org/10.31004/jptam.v6i2.4966>
- Ansori, M. (2023). Analisa Kinerja Minyak Trafo Berdasar Hasil Uji Dissolved Gas Analysis (DGA) Dengan Metode Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) Di PLTU MUARA KARANG. *JREEC (Journal Renewable Energy Electronics and Control)*, 03(01), 27–34. <https://doi.org/10.31284/j.JREEC.2023.v3i1>
- Cekdin Barlian, C. T. (2013). Transmisi Daya Listrik. In *Trasn misi Daya Listrik*.
- Committe, T. (2009). IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers. *IEEE Std C57.104-2008 (Revision of IEEE Std C57.104-1991)*, 1–36. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2009.4776518>
- Duval, M. (2008). A review of faults detectable by gas-in-oil analysis in transformers. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 18(3), 8–17. <https://doi.org/10.1109/MEI.2002.1014963>
- Elmabrouk, O. M., Masoud, F. A., & Abdelwanis, N. S. (2020). Diagnosis of power transformer faults using fuzzy logic techniques based on IEC ratio method. *ACM International Conference Proceeding Series*, November. <https://doi.org/10.1145/3410352.3410770>
- IEEE. (2019). IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers. In *IEEE Power and Energy Society* (Vol. 2019, Issue February). <http://iranpaper.irhttp://www.itrans24.com/landing1.html%0Ahttps://ieeexplore.ieee.org/document/8890040>
- IEEE C57.104-2008*. (n.d.).

- KEPDIR PT PLN (Persero). (2014). Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga No, 0520-2.K/DIR/2014. In *SKDIR No.0520-2.K/DIR/2014*.
- Krisna, J., Bayusari, I., Abu Bakar Sidik, M., Teknik Elektro, J., Sriwijaya, U., Ilir, O., & Selatan, S. (2020). Perbandingan Metode Roger's Ratio dan Metode Duval's Triangle Terhadap Kegagalan Transformator. *Ijccs*, x, No.x(x), 1–5.
- Leonard L.Grigsby. (2014). Power System. In *Vascular* (Issue January 2010). <http://apps.who.int/bookorders>.
- Lv, X., Liu, F., Jiang, M., Zhang, F., & Jia, L. (2024). Fault diagnosis of power transformers based on dissolved gas analysis and improved LightGBM hybrid integrated model with dual-branch structure. *IET Electric Power Applications*, 18(12), 2008–2020. <https://doi.org/10.1049/elp2.12528>
- Permana, S., Sumarto, S., & Saputra, W. S. (2018). Analysis of Transformer Conditions using Triangle Duval Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 384(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/384/1/012065>
- Ramadhan, R. F., Amrullah, F., & Kusnadi. (2020). Identifikasi Dan Peningkatan Kinerja Transformator GIS Duren Tiga 150/20 kV Dengan Metode Dissolved Gas Analysis Dan Filtrasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 5, 63–70.
- S.V., K. dan K. S. A. (2012). *Transformer Engineering, Design, Technology, and Diagnostics* (Second). CRC Press.
- Sandiri, T., S Patras, L., & Tuegeh, M. (2023). Analysis of Transformer Condition Used Dissolved Gas Analysis (DGA). *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 1–8.
- Sismantara, I. M. T., Ariastina, W. G., & Amrita, A. A. N. (2021). Penentuan Kondisi Transformator Berdasarkan Kandungan Gas Terlarut Menggunakan Metode Segitiga Duval. *Jurnal SPEKTRUM*, 8(1), 107. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p12>
- Triangle, D., Gitet, D. I., Ungaran, K. V, & Akhir, L. T. (2024). *Analisa kinerja minyak transformator menggunakan metode tdcg, key gasses dan duval triangle di gitet 500 kv ungaran laporan tugas akhir*.
- Trisna Wati, Dany Arianto, & Santi Triwijaya. (2022). Partial Discharge Analysis of UBJOM Rembang PLTU Using Roger's Ratio Method. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 6(1), 36–46. <https://doi.org/10.37339/e-komtek.v6i1.928>
- William d. Steveson, jr. (1983). *Analisis Sistem Tenaga Listrik* (keempat). Erlangga.