Procedia of Engineering and Life Science Vol. 10 No.1 2026
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Distribution Transformer Protection And Maintenance System On Tr 5-2 Transformer At Pt Petrokimia Gresik

Sistem Proteksi Dan Pemeliharaan Transformator Distribusi Pada Trafo Tr 5-2 Di Pt Petrokimia Gresik

Indah Sulistiyowati, Muhammad Rifqi Anwaruddin

[1, 2] Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia
Email Penulis Korespondensi: indah_sulistiyowati@umsida.ac.id , rifqiuddin3@gmail.co m

Abstract. *General Background Industrial power systems rely heavily on distribution transformers to bridge energy sources and operational loads effectively. Specific Background This study examines the implementation of protection and maintenance systems on the TR 5-2 distribution transformer at PT Petrokimia Gresik to safeguard operational reliability and process continuity. Knowledge Gap Although transformers are vital, potential electrical, thermal, and mechanical disturbances that threaten uninterrupted production activities require continuous evaluation. Aims This research aims to evaluate the coordinated protection configuration and preventive maintenance protocols applied to the industrial transformer. Results Findings indicate that the transformer utilizes a comprehensive, layered protection scheme—including Buchholz relay, OTI, WTI, GFR, SPR, OCR, and OLR—complemented by routine preventive maintenance such as oil level monitoring and component servicing. Novelty This work provides a field-based empirical assessment of layered safety mechanisms and upkeep procedures for step-down distribution transformers within large-scale chemical manufacturing. Implications Systematic coordination between multi-layer protection and scheduled maintenance successfully preserves operational performance and prevents premature industrial downtime.*

Keywords *Distribution Transformer, Protection System, Preventive Maintenance, Industrial Power System, Reliability*

Abstrak Latar Belakang Umum Sistem tenaga listrik industri sangat bergantung pada trafo distribusi untuk menghubungkan sumber energi dan beban operasional secara efektif. Latar Belakang Khusus Penelitian ini mengkaji penerapan sistem proteksi dan pemeliharaan pada trafo distribusi TR 5-2 di PT Petrokimia Gresik guna menjamin keandalan operasional dan kelangsungan proses. Kesenjangan Pengetahuan Meskipun trafo sangat penting, potensi gangguan listrik, termal, dan mekanis yang mengancam kelancaran kegiatan produksi memerlukan evaluasi berkelanjutan. Tujuan Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi konfigurasi perlindungan terkoordinasi dan protokol pemeliharaan preventif yang diterapkan pada trafo industri tersebut. Hasil Temuan menunjukkan bahwa trafo tersebut menggunakan skema perlindungan berlapis yang komprehensif—termasuk relai Buchholz, OTI, WTI, GFR, SPR, OCR, dan OLR—yang dilengkapi dengan pemeliharaan preventif rutin seperti pemantauan tingkat oli dan servis komponen. Kebaruan Karya ini memberikan penilaian empiris berbasis lapangan terhadap mekanisme keselamatan berlapis dan prosedur pemeliharaan untuk trafo distribusi penurun tegangan dalam industri manufaktur kimia berskala besar. Implikasi Koordinasi sistematis antara perlindungan berlapis dan pemeliharaan terjadwal berhasil menjaga kinerja operasional dan mencegah terjadinya downtime industri yang prematur.

Kata Kunci Trafo Distribusi, Sistem Perlindungan, Pemeliharaan Preventif, Sistem Tenaga Listrik Industri, Keandalan

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, sistem kelistrikan adalah hal yang utama terutama pada transformator. Transformator mempunyai peran yang sangat penting karena berfungsi sebagai jembatan antara sumber listrik dan beban industri dengan cara menaikkan tegangan maupun menurunkan tegangan dari sumber listrik. Secara umum, transformator terdiri dari inti yang terbuat dari besi berlapis, yang memberikan stabilitas dan efisiensi, serta dua kumparan yang berbeda, yakni kumparan primer dan kumparan sekunder.[1]

Kelancaran proses produksi sangat bergantung dengan keandalan transformator terutama pada industri skala besar seperti PT Petrokimia Gresik yang sangat memerlukan suplai listrik yang kontinu dan stabil. Gangguan pada transformator dapat mengakibatkan terhentinya proses produksi dan berpotensi menimbulkan kerugian besar. Gangguan tersebut bisa disebabkan oleh binatang, sambaran petir, ataupun sistem proteksi yang tidak tepat, dan tentunya akan berdampak pada keandalan sistem penyalurnya.[2]

Untuk mencegah hal itu terjadi, maka transformator harus dilengkapi sistem proteksi, antara lain yaitu relay bucholz, oil

temperature indicator, winding temperature indicator, sudden preasure relay, dan sebagainya yang dapat mencegah kerusakan transformator itu sendiri. Hasil dari uji coba dan simulasi menunjukkan bahwa implementasi sistem proteksi yang sesuai dapat meningkatkan keandalan operasional dan efisiensi energi listrik.[3]

Selain dari sistem proteksi, transformator juga memerlukan kegiatan pemeliharaan yang dilakuakn secara rutin dan terencana. Pemeliharaan transformator merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan terhadap peralatan instalasi energi listrik, dengan tujuan memastikan bahwa transformator dapat beroprasi secara terus menerus sesuai karakteristiknya.[4]

Transformator TR 5-2 adalah salah satu peralatan penting dalam sistem distribusi listrik di PT Petrokimia Gresik. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana penerapan sistem proteksi dan pemeliharaan pada transformator TR 5-2 berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, serta menilai peran keduanya dalam menjaga keandalan operasional transformator.

METODE

Penulisan artikel ini menggunakan metode deskriptif kualitatif yaitu pendekatan studi lapangan dan studi literatur. Metode ini dipilih penulis karena dapat menggambarkan secara nyata mengenai kondisi transformator TR 5-2 di PT Petrokimia Gresik baik itu penerapan sistem proteksi maupun pemeliharaan transformator yang dilakukan di lapangan.

Adapun tahapan pengumpulan data sebagai berikut:

1. Studi lapangan

Studi lapangan dilakukan dengan cara observasi langsung terhadap kondisi fisik transformator, sistem proteksiyang diterapkan, serta kegiatan pemeliharaan yang dilakukan. Selain itu, dilakukan diskusi dan wawancara singkat kepada teknisi atau staf pemeliharaan yang terlibat dalam pengoperasian dan perawatan transformator agar memperoleh data yang lebih akurat.

2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan meninjau berbagai sumber refrensi seperti jurnal ilmiah, buku teknis, dan artikel yang berkaitan dengan sistem proteksi serta pemeliharaan transformator. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh landasan teori yang kuat sebagai dasar penulisan artikel ini.

3. Pengumpulan data

Data yang diperoleh berasal dari dua sumber, yaitu data primer dari hasil studi lapangan dan data sekunder dari sudi literatur. Tidak lupa penulis juga mengambil data melalui dokumentasi foto saat dilapangan agar data yang ditulis sesuai dengan saat di lapangan.

4. Analisi data

Data yang telah dikumpulkan kemudian disusun secara sistematis dan dianalisis dengan cara membandingkan kondisi aktual transformator TR 5-2 dengan teori yang terdapat di literatur. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara praktik di lapangan dengan teori yang berlaku.

Berdasarkan tahapan pengumpulan data yang telah dijelaskan, diharapakan artikel ini dapat memberikan gambaran yang jelas dan sistematis mengenai kondisi, sistem proteksi, serta pemeliharaan transformator TR 5-2 di PT Petrokimia Gresik.

PEMBAHASAN

A. Spesifikasi Transformator TR-52

Transformator TR 5-2 yang beroperasi pada substasion 5 di PT Petrokima Gresik merupakan transformator step down 3 fasa dengan konfigurasi Dyn11, yang dimana belitan primer terhubung Delta (D), belitan sekunder terhubung bintang/Wye, dan titik netral sekunder dikeluarkan (n). Angka 11 disini menunjukkan pergeseran fasa sebesar 30° tegangan sekunder mendahului tegangan primer. Transformator ini bertipe off load tap changer, yang dimana pengubah tegangan harus dilakukan saat tidak berbeban atau tidak beroperasi. Transformator TR 5-2 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

OPERATION TYPE	OUTDOOR
COOLING	ONAN
HIGH VOLTAGE (V)	6000
LOW VOLTAGE (V)	400
IMPENDANCE 75°C (%)	5.64
B.I.L HV/LV (kV)	60/-
TOTAL WEIGHT (kg)	8150
SERIAL NO.	120R259144
FREQUENCY (Hz)	50
RATED POWER (kVA)	1600

HV CURRENT (A)	153.96
LV CURRENT (A)	2309.40

AMBIENT TEMP. (°C)	MAX 40
TEMP. RISE (K)	50/55
OIL VOLUME (L)	1400
YEAR OF MFG	2020



Gambar 1. Foto Nameplate Transformator TR 5-2

B. Sistem Proteksi Transformator TR 5-2

Sistem proteksi merupakan elemen penting dalam menjaga keandalan operasional sebuah transformator. Proteksi yang efektif dapat mendeteksi gangguan sejak dini sebelum kerusakan serius terjadi. Transformator TR 5-2 telah dilengkapi sistem proteksi berlapis yang komprehensif untuk dapat mencegah berbagai jenis gangguan,baik itu internal maupun eksternal.

Berikut proteksi yang terdapat pada Transformator TR 5-2:

a) Relay bucholz

Relay Bucholz adalah salah satu proteksi utama pada transformator yang berfungsi sebagai sistem pendeteksi dini terhadap gangguan internal. Relay tersebut bekerja pada gas dan minyak yang dioperasikan transformator dengan kapasitas diatas 500 kVA.[5] Cara kerjanya yaitu mendeteksi pembentukan gas yang dihasilkan akibat adanya loncatan bunga api. Relay ini dipasang pada jalur pipa antara tangki utama transformator dan tangki konservator. Ketika terjadi gangguan internal, gas yang terbentuk di dalam transformator akan naik dan terkumpul di dalam relay bucholz, mengaktifkan pelampung yang akan memicu sinyal alarm apabila gangguan ringan dan sinyal trip apabila gangguannya berat yang bisa mengancam keselamatan transformator.



Gambar 2. Foto Relay Bucholz Transformator TR 5-2

b) Oil Temperature Indicator (OTI)

Oil Temperature Indicator berfungsi sebagai memantau suhu minyak yang ada di tangki transformator secara real time. Perangkat ini menggunakan sensor termal yang ditempatkan pada bagian atas tangki transformator di mana suhu minyak tertinggi berada. Saat transformator berbeban, maka ada kenaikan arus yang memicu suhu minyak meningkat[6]. Apabila suhu minyak naik drastis atau melampaui batas aman yang sudah ditetapkan, maka OTI akan mengaktifkan alarm peringatan. Jika suhu minyak terus menerus meningkat sampai titik maksimalnya, OTI akan mengirimkan sinyal trip untuk memutus transformator guna meminimalisir kerusakan pada isolasi.



Gambar 3. Foto Oil Temperatur Indicator Transformator TR 5-2

c) Winding Temperature Indicator (WTI)

Winding Temperature Indicator adalah proteksi yang dirancang untuk memantau suhu belitan transformator. Panas yang berlebih pada belitan akibat adanya rugi-rugi tembaga akan merusak isolasi belitan transformator[7]. Untuk itu komponen ini merupakan paling krusial dan rentan terhadap kerusakan akibat panas berlebih. Karena pengukurannya langsung pada belitan maka digunakan metode simulasi dengan menggabungkan pembacaan suhu minyak dan arus beban yang mengalir pada transformator. Sensor panas yang terhubung degan current transformator (CT) menampilkan kenaikan suhu belitan sesuai dengan beban aktual.



Gambar 4. Foto Winding Temperatur Indicator yang berada di OTI

d) Sudden Pressure Relay

Sudden Pressure Relay dirancang untuk mendeteksi kenaikan tekanan gas di dalam tangki transformator dalam waktu singkat karena adanya gangguan internal serius seperti hubung singkat antar belitan atau busur api[8]. Sudden Preassure Relay dipasang di bagian atas tangki transformator. Cara kerjanya yaitu berdasarkan prinsip mekanis dengan menggunakan bellow (balon logam) yang sensitif terhadap perubahan tekanan ekstrem di ruang gas atau minyak trafo. Perbedaan tekanan yang ekstrem inilah yang dapat mengaktifkan sakelar untuk memberi sinyal trip ke pemutus tegangan.



Gambar 5. Foto Sudden Preasure Relay yang ada di atas tangki transformator

e) Over Current Relay

Over Current Relay digunakan untuk melindungi transformator dari arus berlebih yang disebabkan oleh hubung singkat eksternal atau overload pada sisi sekunder. Over Current Relay bekerja saat adanya arus yang melebihi nilai pengaman yang sudah ditetapkan dan dalam jangka waktu yang sudah ditentukan.[9] Setting OCR harus disesuaikan dengan peralatan proteksi yang lain untuk memastikan keandalan dan mencegah trip yang tidak perlu. Relay ini menjadi proteksi utama pada gangguan arus lebih yang dapat merusak belitan transformator.



Gambar 6. Foto Monitoring Over Current Relay

f) Over Load Relay

Over Load Relay digunakan untuk melindungi transformator dari beban listrik industri yang berlebih dan berkelanjutan. Overload apabila dibiarkan terlalu lama akan menyebabkan belitan transformator panas sehingga belitan transformator akan rusak[10]. Berbeda dengan Over Current Relay yang mencegah arus gangguan sesaat, Over Load Relay memantau beban transformator dalam jangka waktu tertentu. Cara kerjanya yaitu ketika beban melampaui kapasitas transformator, Over Load Relay akan memberian sinyal alarm atau sinyal peringatan agar teknisi dapat mengurangi beban tersebut. Jika kondisi ini berlanjut maka Over Load Relay akan mengirimkan sinyal trip untuk mencegah overheating pada isolasi transformator. Proteksi ini sangat penting untuk mencegah kerusakan yang tidak diinginkan yang dapat membahayakan sistem[11].



Gambar 7. Foto Monitoring Over Load Relay

g) Ground Fault Relay

Ground Fault Relay adalah perangkat proteksi yang berfungsi untuk mendeteksi arus bocor atau hubung singkat fasa ke tanah. Cara kerjanya yaitu mendeteksi gangguan antar fasa dan mengalirkan arus gangguan ketanah melalui pentanahan[12]. Ketika arus gangguan melebihi setting, maka GFR akan memerintahkan PMT (pemutus tegangan) untuk memutus arus, mencegah kerusakan lebih lanjut pada transformator.



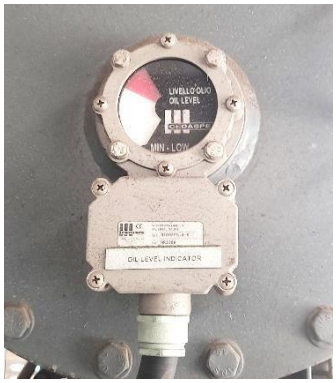
Gambar 8. Foto Ground Fault Relay

C. Pemeliharaan Transformator TR 5-2

Penting sekali dalam industri untuk membuat program pemeliharaan transformator yang terstruktur dan terjadwal guna mempertahankan performa yang maksimal dan memperpanjang umur operasionalnya. Pada Transformator TR 5-2 dilaksanakan secara berkala dengan mengikuti protokol standart industri dan juga rekomendasi pabrikan.

a) Pemeriksaan Oil Level indicator

Menjaga ketinggian minyak transformator pada level yang sesuai adalah bagian penting dalam perawatan rutin transformator. Fungsi utama minyak transformator yaitu sebagai pendingin dan isolator antar belitan[13]. Pengecekan oil level dapat dilakukan melalui alat ukur yang dipasang di sisi tangki konservator. Batas aman minyak transformator harus berada pada zona normal pada indicator. Apabila di bawah minimal yang sudah ditentukan maka akan berisiko over heating yang menyebabkan kegagalan isolasi, dan apabila di atas batas maximal maka akan berisiko tekanan dalam tangki transformator akan tinggi yang dapat menyebabkan kebocoran. Perlu di waspadai jika minyak transformator turun lebih dari 10% maka ada kemungkinan indikasi kebocoran pada tangki transformator.



Gambar 9. Oil Level Indicator yang berada di samping tangki konservator

b) Pemeriksaan Oil Temperature dan Winding Temperature

Pemeriksaan Oil Temperature diperlukan karena mencerminkan kondisi pembebanan dan efektivitas sistem cooling. Dalam kondisi normal dengan beban penuh, suhu minyak transformator umumnya pada kisaran 40 sampai 65 derajat celsius. Angka ini terbaca pada indicator yang terpasang di bagian samping tangki. Lonjakan suhu yang tidak wajar bisa menjadi tanda awal adanya masalah pada mekanisme pendingin atau indikasi overload. Apabila suhu minyak menyentuh angka 85 derajat celsius maka akan mengaktifkan alarm peringatan, dan apabila suhu minyak sampai di atas 95 derajat celsius maka akan terjadi pemutusan atau trip, ini juga bisa mengindikasikan bahwa ada kerusakan pada minyak transformator.

Pemeriksaan Winding Temperature juga diperlukan karena mencerminkan kualitas kumparan atau lilitan transformator. Panas pada lilitan timbul dari losses yang terjadi saat arus mengalir melalui konduktor tembaga. Pengukuran dilakukan lewat instrumen Winding Temperature Indicator yang menggabungkan data temperatur minyak dengan kenaikan panas berdasarkan magnitude arus. Suhu winding transformator normalnya berkisar antara 55 sampai 65 derajat celsius di atas suhu sekitar. Apabila suhu winding mencapai 85 derajat celsius maka mengaktifkan alarm, dan jika suhu sampai di batas maximalnya yaitu antara 95 sampai 105 derajat celsius maka akan trip agar mencegah kerusakan isolasi.



Gambar 10. Foto Oil Temperature dan Winding Temperature

c) Visual Trafo

Inspeksi visual adalah langkah awal dalam program pemeliharaan yang dilakukan secara rutin untuk mendeteksi kerusakan fisik yang ada pada transformator. Pemeriksaan mencakup sebagai berikut:

Kondisi Transformator Saat Aman dan Normal:

- Tidak ada kebocoran minyak
- Tidak ada karat pada body transformator
- Kipas dan radiator berjalan normal (untuk pendingin bertipe ONAN/ONAF)
- Tidak terdengar suara abnormal
- Tidak ada bau terbakar
- Terminal tidak panas berlebih
- Tidak ada benda asing yang masuk di area transformator
- Silica gel berwarna biru Kondisi

Transformator Saat Tidak Aman:

- Minyak dalam tangki transformator menetes atau bocor
- Iingkungan sekitar transformator kotor

- Sokongan transformator longgar
- Warna silica gel sudah berubah menjadi merah muda



Gambar 11. Foto lingkungan sekitar Transformator 5-2



Gambar 12. Foto silica gel Transformator TR 5-2 kondisi normal

d) Penggantian komponen

Penggantian komponen merupakan bagian penting dalam program pemeliharaan transformator yang bertujuan unktuk menjaga keandalan dan kinerja optimal transformator. Pada lingkungan PT Petrokimia Gresik penggantian komponen transformator dilakukan berdasarkan jadwal preventive maintenance dan kondisi komponen di lapangan. Komponen yang sudah mengalami kerusakan perlu segera diganti agar mencegah kegagalan sistem yang lebih fatal.



Gambar 13. Foto Penggantian gasket atau seal sambungan transformator

HASIL PEMBAHASAN

Berdasarkan studi lapangan sistem proteksi dan pemeliharan yang diterapkan pada Transformator TR 5-2, dapat diidentifikasi beberapa temuan penting yang mencerminkan tingkat keandalan operasional transformator.

1. Sistem proteksi pada Transformator TR 5-2 menunjukkan penerapan konsep defense in depth dengan tujuh proteksi yang saling melengkapi. Kombinasi relay Bucholz, OTI, WTI, GFR, SPR, OCR dan OLR memberikan cankupan proteksi yang komprehensif terhadap berbagai jenis gangguan, baik yang bersifat thermal, elektrikal, maupun mekanikal.
2. Dari aspek thermal protection, gabungan antara OTI dan WTI dapat memberikan monitoring suhu yang akurat secara real time pada dua titik krusial transformator. WTI yang menggunakan metode penggabungan data temperatur minyak

dengan kenaikan panas berdasarkan magnitude arus terbukti efektif dalam memberikan peringatan dini sebelum suhu belitan transformator mencapai level yang merusak isolasi.

3. Program pemeliharan yang diimplementasikan menunjukkan pendekatan preventive maintenance yang sistematis. Inspeksi visual rutin terbukti efektif untuk langkah awal deteksi dini terhadap masalah fisik sebelum berkembang menjadi kerusakan parah. Pemeriksaan berkala terhadap silica gel, yang merupakan komponen sederhana namun krusial dalam menjaga kualitas minyak isolasi, mendemonstrasikan perhatian yang detail dalam program pemeliharaan.
4. Kombinasi antara sistem proteksi dan program pemeliharaan yang terencana terbukti berhasil menjaga Transformator TR 5-2 beroperasi dengan aman. Hal ini tercermin dari minimnya gangguan saat operasional, koordinasi antara berbagai relay proteksi juga telah dikonfigurasi dengan baik sehingga gangguan dapat isolasi dengan cepat tanpa mengganggu bagian yang masih sehat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil di lapangan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Transformator TR 5-2 di PT Petrokimia Gresik dilengkapi dengan sistem proteksi berlapis, meliputi relay bucholz, OTI, WTI, GFR, SPR, OCR, dan OLR, yang telah sinergi memberikan perlindungan optimal terhadap berbagai jenis gangguan.
2. Konfigurasi antar proteksi transofmator telah dikoordinasikan dengan baik sehingga dapat memastikan selektivitas dan kecepatan respon yang tepat dalam mengisolasi gangguan.
3. Program pemelihraan transformator yang telah diterapkan terbukti efektif dalam mempertahankan kondisi operasional transformator dan mencegah kegaagalan prematur.
4. Integrasi antara sistem proteksi yang handal dengan program pemeliharaan yang terstruktur telah berhasil menjaga keandalaan Transformator TR 5-2 dalam operasioanal produksi di PT Petrokimia Gresik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Petrokimia Gresik yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan kepada penulis untuk melaksanakan kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL). Melalui kegiatan ini, penulis memperoleh pengalaman dan pengetahuan yang sangat berharga, khususnya terkait penerapan perawatan dan sistem proteksi transformator dalam sistem kelistrikan industri. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing lapangan, teknisi, serta seluruh staf terkait di PT Petrokimia Gresik atas bimbingan, arahan, dan bantuan yang diberikan selama pelaksanaan PKL dan proses pengumpulan data.

Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, khususnya dosen pembimbing Praktik Kerja Lapangan, atas arahan, masukan, serta dukungan yang diberikan selama kegiatan PKL hingga penyusunan artikel ini. Semoga artikel ini dapat memberikan manfaat dan menjadi tambahan referensi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang perawatan dan sistem proteksi transformator pada lingkungan industri.

REFERENSI

[1] S. Down, “Pola Pemeliharaan Transformator Distribusi,” *Jurnal Teknik Elektro dan Ketenagalistrikan*, vol. 10, no. April, pp. 44–52, 2025.

[2] F. I. Pasaribu, I. Roza, C. A. Siregar, and F. A. Sitompul, “Analisa Proteksi Over Current Relay Pada Jaringan Tegangan Menengah 20KV Di PELINDO 1 Cabang Belawan,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 18–26, 2021.

[3] Y. Triyatne and D. Aribowo, “Analisis Keandalan Transformator 2000 kVA dan Panel Kubikel 20 kV melalui Preventive Maintenance PT Surya Toto Indonesia Tbk,” *Jurnal Energi dan Manufaktur*, vol. 12, no. 2, pp. 299–308, 2025.

[4] H. F. Valentina, “Sistem Informasi Perawatan Transformator PT. PLN (Persero) Area Pontianak,” *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 5, no. 2, pp. 240–248, 2019.

[5] I. K. Somantara, “Sistem Kerja Relay Buchholz Pada Trafo Daya 3000 KVA Pada Tegangan 20KV di PT. Muliakeramik Indahraya HT1,” *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 1956.

[6] A. Sutowo, A. Sofwan, and B. A. Pandowo, “Analisa dan Pengujian Kenaikan Suhu pada Minyak Ester Sintetis pada Transformator Distribusi 20/0,4 kV Kapasitas Daya 2500 kVA,” *Jurnal Teknik Tenaga Listrik*, vol. 34, no. 3, pp. 69–75, 2024.

[7] D. Pada, PT Xacti, D. Jawa, and B. Dengan, “Pengujian Temperature Rise Transformator 3 Phasa 1000 kVA Tegangan 20000/400 V,” *Jurnal Riset Teknik Elektro*, 2023.

[8] A. Pengaruh, D. Gas, K. M. Transformator, G. Induk, P. Putih, and R. Asril, “Analisis Pengaruh Dissolved Gas Terhadap Kinerja Transformator Daya,” *Jurnal Transformasi Energi*, 2022.

[9] E. S. Nasution, F. I. Pasaribu, and M. H. Hidayat, “Studi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Pada Trafo 1600 kVA Menggunakan Current Relay IWU 2-3,” *Jurnal Rekayasa Kelistrikan*, vol. 2, no. 2, 2021.

[10] PM. Perangkat, “Simulasi Proteksi Transformator Daya Dengan Relai Diferensial Dual-Bias,” *Jurnal Proteksi Sistem Tenaga*, vol. 13, no. 01, pp. 25–29, 2021

[11] Y. Adhimanata, I. Sulistiyowati, A. Wisaksono, and S. Dhiya, “Overload Monitoring and Warning System for 3-Phase Electric Motor

Based on IoT [Sistem Pemantauan dan Peringatan Beban Berlebih Motor Listrik 3-Fase Berbasis IoT],” *Journal of Electrical Engineering*, pp. 1–12, 2023.

[12] GF. Relay and I. Pendahuluan, “Analisis Koordinasi Proteksi OCR dan GFR pada Jaringan Distribusi,” *Jurnal Sistem Proteksi*, vol. 1, pp. 30–38, 2023.

[13] I. Sulistiyowati, *Buku Ajar Sistem Proteksi dan Transformator*. Sidoarjo: UMSIDA Press, 2022.

[14] R. Pratama and T. Santoso, “Evaluasi Unjuk Kerja Pemeliharaan Preventif pada Transformator Daya di Sisi Distribusi Pabrik Kimia,” *Jurnal Energi Industri*, vol. 8, no. 2, pp. 115–123, 2024.

[15] H. Wijaya and M. Ridwan, “Analisis Keandalan Sistem Proteksi Berlapis pada Transformator Step-Down Skala Besar,” *Jurnal Kelistrikan dan Konversi Energi*, vol. 7, no. 1, pp. 50–58, 2025.