

Available online at: <http://jarpet.ft.unand.ac.id/>

Jurnal Andalas: Rekayasa dan Penerapan Teknologi

ISSN (Online) 2797-9024



Click here and write your Article Category

Rekayasa Ulang Pendinginan Transformator Daya Tua dengan ONAF dan Evaluasi Berbasis PDCA untuk Efisiensi dan Keandalan

Refki Budiman¹, Baik Budi¹, Jhonny Faizal²,

¹ Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

² Unit WHRPG dan Utilitas, PT. Semen Padang, Padang, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Diajukan: 14 Juli 2025
Revisi: 03 November 2025
Diterbitkan: 01 Desember 2025

KEYWORDS

Transformator, kebocoran minyak trafo, siklus PDCA, Oil Natural Air Forced (ONAF), temperature

CORRESPONDENCE

E-mail: refkibudiman@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

Transformator daya merupakan aset kritis dalam sistem kelistrikan industri, di mana kegagalannya dapat menyebabkan kerugian produksi yang signifikan. Studi kasus ini menginvestigasi serangkaian kegagalan berulang pada tiga unit transformator daya tua berkapasitas 30 MVA, 150/6,3 kV di PT Semen Padang, yang telah mengakibatkan terhentinya operasional pabrik. Kegagalan-kegagalan ini, yang termanifestasi sebagai kebocoran minyak, aktivasi *Pressure Relief Device* (PRD), dan trip pemutus daya, secara konsisten berkorelasi dengan suhu operasi yang tinggi. Melalui pendekatan metodologis yang terstruktur, termasuk analisis akar penyebab menggunakan diagram Ishikawa dan *Nominal Group Technique* (NGT), pemanasan berlebih (*overheating*) diidentifikasi sebagai penyebab dominan. Sebagai solusi, sebuah sistem pendingin paksa *Oil Natural Air Forced* (ONAF) otomatis diimplementasikan dengan biaya rendah. Hasil pasca-intervensi menunjukkan penurunan suhu operasi maksimum yang signifikan, dari kisaran 70°C - 76°C menjadi sekitar 60°C dalam kondisi beban dan cuaca yang sebanding, serta eliminasi total kegagalan yang terkait dengan panas. Intervensi ini tidak hanya memulihkan keandalan operasional tetapi juga menghasilkan manfaat finansial yang terkuantifikasi melalui penghindaran biaya perbaikan dan kerugian produksi. Studi ini membuktikan bahwa peningkatan (*retrofit*) yang ditargetkan pada pertengahan umur pakai aset merupakan strategi yang secara teknis layak dan secara ekonomi jauh lebih unggul dibandingkan penggantian aset prematur, menawarkan model yang valid untuk manajemen aset kritis yang sudah menua.

PENDAHULUAN

Transformator daya adalah komponen fundamental dan tak tergantikan dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik [1]. Di sektor industri padat energi seperti pabrik semen, transformator berfungsi sebagai jantung sistem kelistrikan, di mana keandalan operasionalnya berbanding lurus dengan kontinuitas produksi dan profitabilitas perusahaan [2]. Kegagalan satu unit transformator bukan sekadar insiden teknis, melainkan sebuah disrupti besar yang dapat menghentikan seluruh lini produksi, menimbulkan kerugian finansial yang masif akibat kehilangan kesempatan produksi dan biaya perbaikan yang tinggi. Pada PT Semen Padang, transformator daya 30 MVA secara spesifik menyuplai daya ke Pabrik Indarung V, menjadikan setiap gangguan pada transformator ini sebagai ancaman langsung terhadap target produksi [3].

Infrastruktur kelistrikan di seluruh dunia menghadapi tantangan penuaan aset, di mana banyak transformator telah beroperasi melampaui usia desainnya [2]. Umur transformator secara inheren dibatasi oleh kondisi sistem insulasinya, yang terdiri dari kertas selulosa dan isolasi minyak [4]. Mekanisme degradasi utama dari sistem insulasi ini adalah stres termal [5]. Panas yang dihasilkan dari rugi-rugi tembaga (beban) dan rugi-rugi inti (tanpa beban) secara kontinu membebani insulasi. Suhu operasi yang berlebihan akan mengakselerasi dekomposisi kimia material insulasi sesuai dengan hukum Arrhenius, yang menyatakan bahwa laju reaksi kimia (dalam hal ini, penuaan) meningkat secara eksponensial dengan kenaikan suhu [6]. Degradasi ini menyebabkan penurunan kekuatan dielektrik minyak, kerapuhan kertas insulasi, pembentukan gas-gas terlarut, dan pada akhirnya berujung pada kegagalan katastropik [4].

Untuk mengelola panas, transformator dilengkapi dengan sistem pendingin. Metode paling dasar adalah *Oil Natural Air Natural* (ONAN), di mana panas dari inti dan belitan dipindahkan ke minyak, yang kemudian bersirkulasi secara alami ke radiator untuk didinginkan oleh

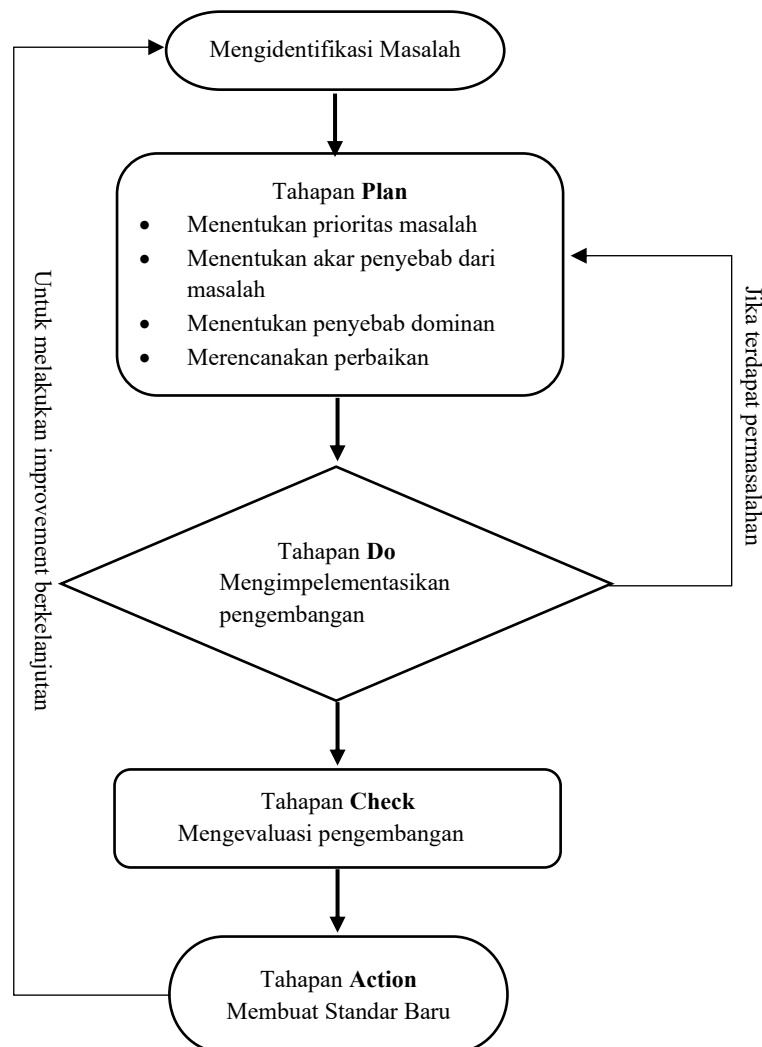
udara sekitar [7]. Untuk kapasitas yang lebih besar atau kondisi beban berat, sistem pendingin aktif seperti *Oil Natural Air Forced* (ONAF) digunakan. Sistem ONAF meningkatkan laju disipasi panas secara signifikan dengan menggunakan kipas (fan) untuk meniupkan udara paksa ke permukaan radiator [8]. Peningkatan kapasitas pendinginan ini sangat krusial untuk menjaga suhu operasi dalam batas aman, terutama pada kondisi beban puncak dan suhu lingkungan yang tinggi [6].

Secara diagnostik, kondisi internal transformator akibat stres termal dapat dipantau melalui *Dissolved Gas Analysis* (DGA). Analisis ini mendeteksi dan mengukur konsentrasi gas-gas tertentu (seperti hidrogen (H₂), metana (CH₄), etilena (C₂H₄), dan asetilena (C₂H₂)) yang terlarut dalam minyak, yang merupakan produk sampingan dari dekomposisi material insulasi akibat panas atau gangguan listrik [9]. Munculnya gelembung gas yang teramati di PT Semen Padang merupakan salah satu indikator kualitatif dari proses degradasi termal yang sedang berlangsung.

Tujuan dari penelitian ini bagaimana merencanakan ulang pendinginan transformator daya tua dengan ONAF dan evaluasi berbasis Plan, Do, Check, Action (PDCA) untuk efisiensi dan keandalannya. Siklus PDCA diumpamakan seperti sebuah bola yang perlu didorong naik menuju sasaran yang telah ditentukan [10]. Untuk meningkatkan kualitas, berbagai upaya diperlukan agar siklus PDCA dapat terus mendorong peningkatan mutu secara berkelanjutan [3].

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini dapat diilustrasikan pada flowchart berikut.



Gambar 2. Flowchart Metodologi Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi masalah yang terdapat di transformator daya, kemudian di tahapan Plan ditentukan prioritas masalah, akar penyebab dari masalah, dari akar penyebab tersebut ditentukan akar penyebab dominan, dan di tahapan plan juga dilakukan rencana perbaikan jika ditemukan kendala pada tahapan Do. Tahapan Do dilakukanlah implementasi dari improvement tersebut, jika terdapat kendala maka kembali ke tahapan Plan untuk rencana perbaikan, jika tidak maka dilanjutkan ke tahapan Check. Tahapan Check maka dilakukan evaluasi dari hasil peningkatan setelah itu lanjut ke tahapan terakhir yaitu tahapan Action. Tahapan Action ini dibuat

standar baru dari improvement yang telah diimplementasikan. Setelah diimplementasikan beberapa waktu seharusnya unit WHRPG dan Utilitas melakukan improvement berkelanjutan supaya siklus PDCA ini berkelanjutan.

Implementasi Siklus PDCA

Prinsip-prinsip dasar siklus PDCA diterapkan dalam sistem manajemen mutu di berbagai sektor industri, termasuk manufaktur, jasa, manajemen proyek, dan organisasi. Prinsip-prinsip ini diperkenalkan pada tahun 1950 oleh Dr. Edward Deming, seorang pakar manajemen mutu terkemuka. Pendekatan PDCA sangat berharga dalam mendorong perbaikan berkelanjutan secara sistematis, dengan prinsip-prinsip yang visioner, fleksibel, rasional, dan praktis, serta memberikan penjelasan yang rinci untuk setiap komponennya [11].

Metode PDCA untuk mengelola dan meningkatkan proses melibatkan siklus berulang yang terdiri dari empat tahap. Proses ini mencakup Perencanaan, Pelaksanaan, Pengujian, dan Implementasi, yang secara kolektif dikenal sebagai Fase Deming. Deming menciptakan siklus pemecahan masalah empat langkah ini, yang lebih dikenal sebagai siklus Plan-Do-Check-Action (PDCA).

- **Plan** - Tahap Perencanaan (Plan) melibatkan penentuan tujuan serta penyusunan proses untuk mencapai hasil yang diinginkan.
- **Do** – Tahapan (Do) melibatkan eksekusi dari rencana yang telah disusun sebelumnya.
- **Check** - Tahap Pemeriksaan (Check) melibatkan peninjauan dan penilaian terhadap proses yang telah dijalankan, dengan pemantauan dan evaluasi yang cermat.
- **Action** - Tahap Tindakan (Action) berfokus pada penerapan langkah-langkah perbaikan untuk meningkatkan hasil.

Identifikasi Masalah

Dari latar belakang dan dibuktikan dengan adanya logbook operator maka masalah dari penelitian ini dapat diidentifikasi yang dapat dilihat tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Masalah

No	Jenis Masalah	Keterangan
1	Kebocoran Trafo	Adanya rembesan dan tetesan oli di sekitar trafo
2	(PRD) aktif	Trafo trip dikarenakan pressure relief device (PRD) aktif
3	Adanya gelembung gas pada Main Tank trafo	Saat dilakukan pengujian minyak trafo
4	Bucholz Relay Trafo aktif	Trafo trip dikarenakan Bucholz Relay Trafo aktif

Setelah masalah yang muncul maka baru kita dapat lanjutkan pembahasan pada hasil dan pembahasan mengenai siklus PDCA dari penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan ini dijelaskan bagaimana proses PDCA itu dilakukan pada improvement ini.

Tahapan Plan

1. Menentukan Prioritas Masalah

Untuk menentukan prioritas masalah dari inovasi ini maka tim menggunakan metode Strategic Risk Severity Matrix yang dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 Tabel Prioritas Masalah

No	Identifikasi Risiko (Masalah)	Probabilitas Masalah (Likelihood :L)	Dampak (Concequence : C)	Risk Score (S = L x C)
1	Kebocoran Trafo	5	5	25
2	(PRD) aktif	2	5	10
3	Adanya gelembung gas pada Main Tank trafo	2	3	6
4	Bucholz Relay Trafo aktif	2	4	8

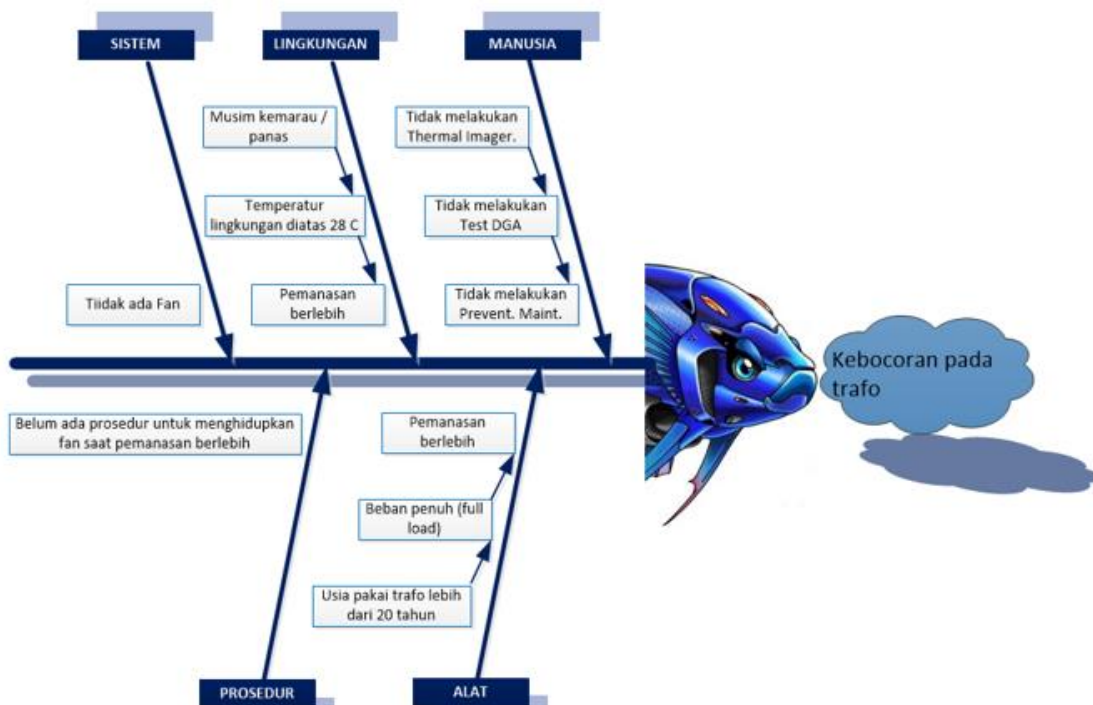


Gambar 3. Risk Severity Matrix [12]

Berdasarkan tabel prioritas masalah dan strategic risk severity matrix maka masalah dominan yang harus penanganan segera yang nilai risk nya > 15. Sehingga masalah dominan yang harus diselesaikan adalah Kebocoran Trafo

2. Menentukan Akar Penyebab dari Masalah

Untuk menentukan akar penyebab dari masalah ini digunakan diagram tulang ikan [13, 14], yang dapat dilihat pada gambar 4



Gambar 4 Diagram tulang ikan dari akar penyebab dari masalah

Diagram tulang ikan di atas dapat diketahui terdapat limat faktor penyebab dari prioritas masalah pada penelitian ini. Faktor penyebabnya merupakan: manusia, alat, lingkungan, sistem, dan prosedur. Adapun akar penyebab dari lima faktor tersebut dari segi manusianya yaitu personel maintenance tidak melakukan preventif maintenance secara rutin, dari segi peralatan terjadinya pemanasan berlebih di trafo dari segi lingkungan temperature dilingkungan trafo sangat tinggi dari segi sistemnya tipe trafo ONAN sehingga tidak ada fan trafo sebagai pendingin tambahan dan dari segi prosedur yaitu tidak adanya prosedur. Untuk menentukan akar penyebab dominan ini maka digunakanlah Nominal Group Technique.

3. Menentukan Penyebab Dominan

Dalam menentukan penyebab dominan team menggunakan nominal group technique (NGT) [3] tools, seperti yang terlihat pada Tabel.3

Tabel 3. Menentukan akar penyebab dominan dengan NGT

No	Akar Penyebab	Fasilitator	Ketua	Sekretaris	Anggota 1	Anggota 2	Total
1	personel maintenance tidak melakukan preventif maintenance secara rutin	3	2	2	2	2	11

2	terjadinya pemanasan berlebih di trafo	5	5	5	5	5	25
3	Temperature di lingkungan trafo sangat tinggi	1	2	3	1	3	10
4	Tidak ada fan	4	4	4	4	4	16
5	Tidak Ada Prosedur	2	3	1	3	1	10

Berdasarkan Nominal Group Technique yang didapat dari perhitungan berikut :

$$NGT = (\frac{1}{2} * \text{Jumlah Masalah} * \text{Jumlah Pemilih}) + 1$$

$$NGT = (\frac{1}{2} * 5 * 5) + 1 = 13,5$$

Maka tim sepakat untuk menyelesaikan masalah dominan yang berada pada score $\geq 13,5$ yaitu untuk penyebab di nomor 2 dan 4 yaitu "Terjadinya pemanasan berlebih di trafo sedangkan tipe trafo ONAN sehingga tidak ada fan".

Dari akar penyebab dominan ini maka ditentukan solusi untuk menyelesaikan Operator tidak memonitor level air kanal dan Tidak ada alat untuk alarm level air di ruang operator dengan cara "Pemasangan Fan Tambahan di Trafo sebagai Pendingin Tambahan".

4. Menyusun Rencana Perbaikan

Rencana perbaikan ini menggunakan metode (5W+2H). Untuk rencana perbaikan dalam inovasi ini dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 4 Tabel Rencana Perbaikan (5W+2H)

Faktor Penyebab Dominan (WHY)	Terjadinya pemanasan berlebih di trafo sedangkan tipe trafo ONAN sehingga tidak ada fan
Sasaran (WHAT)	Menghentikan kebocoran atau rembesan oli trafo
Cara Penerapannya (HOW)	Pemasangan Fan Tambahan di Trafo sebagai Pendingin Tambahan
Waktu Pelaksanaan (WHEN)	Februari 2023
Lokasi (WHERE)	Gardu Induk
Penanggung Jawab (WHO)	Gardu Induk
Biaya (How Much)	Rp. 5.000.000,-

Setelah rencana perbaikan selesai maka dilanjutkan ke tahapan PDCA selanjutnya yaitu tahapan Do

Tahapan Do

Pada tahap kedua dalam siklus PDCA, yang disebut sebagai tahap "Do", dilakukan berbagai aktivitas untuk menyelesaikan permasalahan. Proses ini diawali dengan langkah persiapan, mencakup identifikasi permasalahan, pengumpulan data yang sesuai, perancangan peralatan yang dibutuhkan, pengadaan material dan alat yang diperlukan, serta pertukaran informasi di antara anggota tim.

Setelah tahap persiapan rampung, langkah berikutnya adalah proses pelaksanaan. Pada tahap ini, peralatan dan material dipasang sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang. Setelah pemasangan selesai, dilakukan pengujian atau commissioning. Jika hasil commissioning menunjukkan keberhasilan dan sesuai dengan standar desain yang ditetapkan, maka standar baru akan diterapkan sebagai bentuk peningkatan.

Tahapan Check

Tahapan **check** merupakan tahapan yang ketiga dari siklus PDCA. Dimana tahapan check ini lakukan penilaian dari hasil improvement dan evaluasi. Inovasi ini, sesuai dengan jadwal pelaksanaannya, mulai diterapkan pada tanggal 6 Januari 2021. Sebelum inovasi ini diterapkan (sesuai pada Gambar 5), tidak adanya fan tambahan di transformator karena trafonya dengan tipe ONAN. Dikarenakan usia trafo lebih dari 20 tahun sehingga performancenya sudah menurun dan pemanasan berlebih di trafo, sehingga menyebabkan rembesan-rembesan oli trafo disekitar trafo. Selain itu, ketika pemanasannya dalam waktu lama maka akan menyebabkan tekanan berlebih didalam trafo yang mengakibatkan pressure relief device aktif sehingga mengakibatkan pemutus tenaga open dan mengakibatkan black out di gardu induk. Setelah inovasi ini diterapkan, fan trafo terpasang dibawah radiator trafo sehingga proses pendinginan minyak trafo di radiator tidak hanya secara natural tetapi juga dengan bantuan fan trafo, seperti terlihat pada Gambar 6. Dengan adanya inovasi ini, ketika terjadi pemanasan berlebih di Trafo maka fan secara otomatis hidup dengan memanfaatkan temperature relay ditrafo sebagai input untuk mengaktifkan fan. Sehingga trafo memiliki pendinginan tambahan dan sirkulasi pendinginan di radiator lebih bagus dan pemanasan berlebih ditrafo dapat diatasi



Gambar 5 Transformator sebelum dipasangkan fan



Gambar 6. Transformator setelah dipasangkan fan

Berdasarkan hasil evaluasi dari improvement ini dapat dilakukan penilaian berdasarkan *Quality, Cost, Delivery, Safety, dan Moral* yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel. 5 Evaluasi setelah dilakukan improvement

QCDSME	Sebelum Improvement	Pencapaian Improvement	Presentasi Terhadap Capaian
Quality	Kenaikan panas pada trafo cepat sehingga mengakibatkan kebocoran dan aktifnya PRD	Tidak Terjadi Lagi Kebocoran Trafo	100%
Cost	Besarnya biaya maintenance trafo untuk purifikasi dan adanya production lost pabrik	Pemasangan fan pada trafo 1,2, dan 3 dengan biaya Rp. 5.000.000	100%
Delivery	Waktu pembelian trafo lebih dari 6 bulan dan 3 waktu purifikasi trafo 1 selama 4 hari untuk setiap purifikasi	Pemasangan Fan Trafo tujuh hari	100%
Safety	Tingkat kecelakaan saat terjadi kebocoran tinggi untuk personel operator dan kerusakan pada peralatan dan lingkungan sekitar trafo yang disebabkan oli Trafo	Tidak terjadi kecelakaan kerja, serta lingkungan disekitar trafo tidak tercemar oleh minyak trafo.	100%
Moral	Operator GI was was saat beban trafo full dan pada siang hari	Kepercayaan diri tinggi	100%

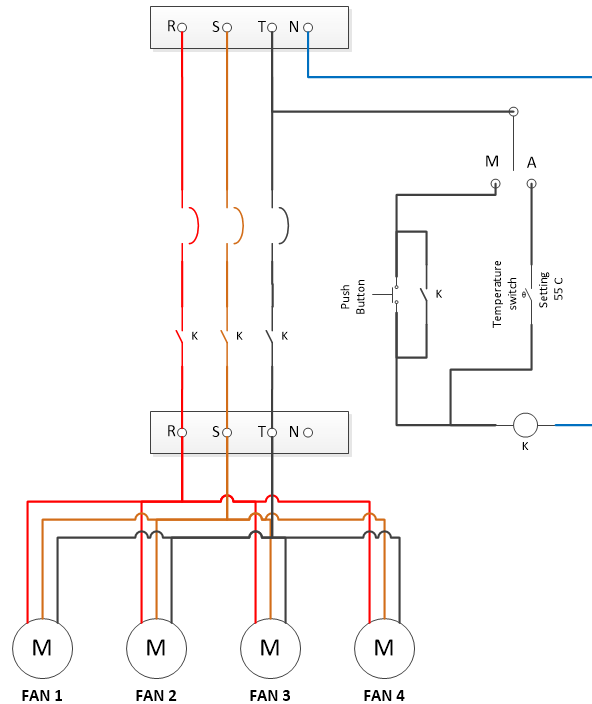
Inovasi ini sesuai dengan jadwal pelaksanaannya mulai di aplikasikan di tanggal 9 Januari 2021. Setelah diamati sampai sekarang dengan adanya penambahan fan di trafo tidak terjadi lagi kebocoran ditrafo sehingga perlakukan maintenance trafo seperti biasa. Dimana terlihat dari bukti laporan shift dengan kondisi beban dan cuaca yang sama sebelum inovasi temperature trafo mencapai nilai 70°C sedangkan setelah inovasi temperature trafo hanya sampai 60°C.

Tahapan Action

Tahap terakhir dalam siklus PDCA adalah fase tindakan. Pada tahap ini, standar ditetapkan setelah pelaksanaan perbaikan. Standar tersebut diklasifikasikan ke dalam tiga kategori: standar input, standar proses, dan standar output.

1. Standar input

Standart input merupakan standar-standar yang menjadi inputan dalam inovasi ini. Standar inovasi ini dapat dilihat pada gambar 7 dan tabel 6



Gambar 7 Wiring Diagram

Gambar 7 menyajikan wiring diagram fan trafo yang digunakan sebagai acuan dalam instalasi dan perawatan fan. Adapun Tabel 6 memuat spesifikasi teknis dari peralatan yang digunakan dalam penambahan fan pada trafo ini.

Tabel 6. Standar Input

No	Item	Jumlah	UoM	Keterangan
1	Fan	4	set	Daya untuk 1 Fan sebesar 750 Watt
2	MCB 3 Pole	1	set	10 Ampere
3	Kontaktor	1	set	10 Ampere
4	Selector Switch	1	set	
5	Push button	1	set	

2. Standar Proses

Standar proses mencakup Prosedur Operasi Standar (SOP) dan pedoman pemeliharaan, yang berfungsi sebagai acuan bagi operator dalam melaksanakan tugas operasional dan pemeliharaan.

3. Standar output

Pemasangan fan pada Trafo 1, 2, dan 3 dilakukan agar dapat beroperasi secara otomatis ketika suhu trafo mencapai setelan temperatur 55°C. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pendinginan dan menjaga kestabilan kerja trafo selama beban tinggi. Dengan adanya fan otomatis ini, diharapkan umur operasional trafo dapat diperpanjang serta risiko gangguan akibat overheat dapat diminimalkan

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merencanakan ulang sistem pendinginan transformator daya tua di PT Semen Padang melalui penerapan sistem ONAF (Oil Natural Air Forced) dengan pendekatan perbaikan berkelanjutan menggunakan metode PDCA (Plan, Do, Check, Action). Identifikasi permasalahan utama, seperti kebocoran trafo dan aktifnya pressure relief device (PRD), menunjukkan bahwa akar penyebab dominan berasal dari pemanasan berlebih akibat keterbatasan sistem pendingin ONAF yang tidak dilengkapi kipas.

Melalui tahapan PDCA, solusi berupa pemasangan fan tambahan berhasil diimplementasikan dengan baik. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan signifikan dalam aspek kualitas (pengurangan kebocoran), efisiensi biaya (penurunan biaya maintenance), waktu (pengurangan downtime), keselamatan kerja, dan moral operator. Setelah implementasi, suhu operasi transformator turun dari 70°C menjadi 60°C pada kondisi beban dan lingkungan yang sama, serta tidak ditemukan lagi kebocoran oli.

Standar input, proses, dan output telah disusun untuk memastikan keberlanjutan inovasi ini. Penerapan fan otomatis yang aktif pada suhu 55°C terbukti efektif dalam menjaga stabilitas operasi trafo, memperpanjang umur pakai, dan mencegah gangguan operasional yang berisiko terhadap keberlangsungan produksi. Inovasi ini dapat menjadi model percontohan bagi peningkatan keandalan transformator daya tua di industri sejenis.

REFERENCES

- [1] P. P. Pande, K. Hussain, B. Pravallika, M. . S. Al Ansari, R. Tharsanee dan S. Acharya, "Predictive Maintenance of Power Transformers in Distribution Network with Energy Management Using Deep Learning," dalam *Conference: 2024 5th International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*, Tirunelveli, India, 2024.
- [2] A. Chander dan N. , "Adaptive Approach for Fault Detection in Power Transformer Based on Oil Testing," *International Journal of Management, IT and Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 47-56, 2014.
- [3] R. Budiman dan . J. Faizal, "Development of an Energy-Efficient Electrical Load Model for Optimizing Electricity Consumption in the Headquarters Building of PT Semen Padang Using the PDCA Approach," *Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, vol. V, no. 01, pp. 65 - 73, 2025.
- [4] M. Cordonnier, M. Zouiti dan E. Ortega , "Power Transformer Life Extension by an Optimized Mid-Life Maintenance," dalam *27th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2023)*, Rome, Italy, 2023.
- [5] A. S. Ritonga, M. A. Muthalib, M. Daud, H. A. Lubis, B. B. Pokhrel, S. Phuyal dan U. . B. Gohatre, "Analysis of the Effect of Loading on the Transformers Usage Time," *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 79-84, 2021.
- [6] Z. Janic, N. Gavrilov dan I. Roketincec, "Influence of Cooling Management to Transformer Efficiency and Ageing," *Energies*, vol. 16, no. 4626, 2023.
- [7] S. Sorte, A. F. Monteiro, D. Ventura, A. Salgado, M. S. A. Oliveira dan N. Martins, "Power Transformers Cooling Design: A Comprehensive Review," *Energies*, vol. 18, no. 1051, 2025.
- [8] A. Afriangga, Meriani dan F. P. Winarta, "SISTEM PENDINGIN MINYAK JENIS ONAF PADA TRANSFORMATOR DAYA 30 MVA GARDU INDUK LAHAT 150 KV," *Jurnal Teknik Elektro Raflesia*, vol. 3, no. 1, pp. 13-17, 2023.
- [9] J. Dai, B. Luo, X. Shen, W. Han, R. Cui, J. Wu, H. Zhang, W. Xiao, Z. Zhong, L. Dong dan H. Wu, "A review of optical gas sensing technology for dissolved gas analysis in transformer oil," *Frontiers in Physics*, vol. 13, 2025.
- [10] R. Budiman dan R. Nazir, "Electric Load Modeling for Managing Electric Energy Consumption Through the PDCA Cycle in the Library Building of Andalas University," *Andalas Journal of Electrical and Electronic Engineering Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 10 - 22, 2023.
- [11] M. S. Arif, C. F. Putri dan N. Tjahjono, "Peningkatan Grade Kain Sarung dengan Mengurangi Cacat Menggunakan Metode Kaizen dan Siklus PDCA pada PT. X," *Jurnal WIDYA TEKNIKA*, vol. 26, no. 2, pp. 222 - 231, 2018.
- [12] A. S. Araibi, H. H. Dalef, H. K. Hussein, M. S. A. Ishak dan M. R. Rahim, "Enhancing Risk Management: Leveraging the Likelihood/Severity Matrix for Effective Risk Assessment and Mitigation in the Electrical and Electronic Sector," *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, vol. 20, no. 3, p. 1818 – 1171, 2024.
- [13] T. Luo, C. Wu dan L. Duan, "Fishbone Diagram and Risk Matrix Analysis Method and Its Application in Safety Assessment of Natural Gas Spherical Tank," *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 296-304, 2018.
- [14] H. Kurniawan, E. Sumarya dan A. Merjani, "Peningkatan Kualitas Produksi untuk Mengurangi Unit Cacat Insufficient Epoxy dengan Metode PDCA di Area DIE ATTACH," *PROFISIENSI*, vol. 5, no. 1, pp. 44 - 50, 2017.
- [15] N. Nelza, M. Sebayang, Y. dan D. F. Simatupang, "Penentuan Kebutuhan PoliAluminium Klorida pada Proses Penjernihan Air di Unit Water Treatment PT. XYZ Kuala Tanjung," *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 6, pp. 1047 - 1053, 2023.

- [16] W. Sholikah, H. Hasan dan F. Dinna, "Studi Perbandingan antara Kapur Tohor (CaO) dengan Greenhydro LM-50 C pada Pengolahan Air Asam Tambang di Settling Pond Azalea PT.Kaltim Prima Coal Sangatta Kabupaten Kutai Timur, Kalimantan Timur," *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, vol. 5, no. 1, pp. 14 - 21, 2017.
- [17] P. Gupta, "Beyond PDCA-A New Process Management Model," *Quality Progress*, vol. 39, no. 7, pp. 45-52., July 2006.
- [18] S. Isniah, H. H. Purba dan F. Debora, "Plan Do Check Action (PDCA) Method : Literature Review and Research Issues," *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, vol. 4, no. 1, pp. 72-81, 2020.

NOMENCLATURE

Meaning of symbols used in the equations and other symbols presented in your article must be presented in this section.

PDCA meaning of Plan Do Check Action
NGT meaning of Nominal Group Technique