

Pemanfaatan Limbah Oli Trafo Guna Optimalisasi *Maintenance* Trafo Dengan Konsep *Circular Economy* Melalui Proses Purifikasi Di PLN UP3 Bali Utara

Salim Afif^{1*}; Abdul Syakur¹; Pawenary²

1. Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas JPII, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
2. Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, DKI Jakarta, DKI Jakarta 11750 Indonesia

**Email: salim.afif14@gmail.com*

Received: 29 April 2024 | Accepted: 12 September 2024 | Published: 12 September 2024

ABSTRACT

Maintenance of the transformer unit is intended to be efficient by its actual function and capacity. In transformer maintenance, the quality of the oil used to cool and insulate distribution transformers is the most important consideration. During maintenance, a certain amount of new oil is added to fill the volume of the transformer to replace the oil lost due to evaporation during operation or leakage from the transformer. Based on the historical data of transformer maintenance in 2021 and 2022 in UP3 North Bali, the amount of oil cleaned from 82 transformer units was 20,555 liters with the addition of 608 liters of new oil. On the other hand, there is waste used transformer oil from transformers with damaged categories, which is managed through a temporary storage process in the warehouse, and then sold to third parties at relatively low prices. This article explains how changes are being made to the existing process, namely combining the need for new oil as a supplement and the use of used oil waste in storage as a circular economy concept. This can save transformer treatment costs, add value to waste oil promote comprehensive waste utilization, and indirectly reduce the number of transformer failures if done simultaneously.

Keywords: *Maintenance, Purification, Waste, Used Oil, Circular Economy, PLN UP3 North Bali*

ABSTRAK

Pemeliharaan adalah kegiatan rutin yang dilakukan untuk menjaga kondisi peralatan distribusi ketenagalistrikan salah satunya adalah unit transformator 20 kV agar dapat dipergunakan sesuai dengan fungsi dan kapasitas yang sebenarnya secara efisien. Hal utama yang diperhatikan dalam pemeliharaan trafo adalah kualitas oli sebagai pendingin dan isolasi trafo distribusi. Dimana dalam pemeliharanya, akan dilakukan penambahan oli baru pada kuantitas tertentu yang dibutuhkan untuk mengisi volume trafo menggantikan oli yang hilang akibat penguapan saat proses operasi maupun akibat kebocoran trafo. Berdasarkan data historikal pemeliharaan trafo di tahun 2021 dan 2022 di UP3 Bali Utara, jumlah oli yang dipurifikasi dari 82 unit trafo sebanyak 20.555 liter dengan jumlah penambahan oli baru sebanyak 608 liter. Di sisi lain, terdapat limbah oli trafo bekas dari trafo dengan kategori rusak yang dikelola dengan proses penyimpanan sementara pada Gudang, selanjutnya dijual ke pihak ketiga dengan harga relatif rendah. artikel ini menjelaskan bagaimana perubahan dilakukan terhadap proses eksisting yaitu menghubungkan kebutuhan akan oli baru sebagai penambahan dan pemanfaatan limbah oli bekas di Gudang sebagaimana konsep circular economy. Hal ini dapat menghemat biaya treatment trafo, memberikan nilai tambah limbah oli dan mendorong pemanfaatan limbah secara komperhensif, serta secara tidak langsung dapat menekan angka dari kerusakan trafo jika dilakukan secara simultan.

Kata kunci: *Pemeliharaan, Purifikasi, Limbah, Oli Bekas, Circular Economy, PLN UP3 Bali Utara*

1. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN), keberadaan PT. PLN (Persero) sangat dibutuhkan oleh masyarakat dalam penyediaan tenaga listrik. Dengan misinya yaitu “Menjalankan bisnis kelistrikan dan bidang lain yang terkait, berorientasi pada kepuasan pelanggan, anggota perusahaan dan pemegang saham” maka upaya-upaya dalam memberikan pelayanan kualitas dan keandalan jaringan adalah suatu keharusan untuk dilakukan. Penyediaan tenaga listrik bagi kepentingan umum dalam jumlah dan mutu yang memadai adalah tujuan perusahaan dengan tanpa mengesampingkan usaha dalam memupuk keuntungan dan melaksanakan penugasan Pemerintah di bidang ketenagalistrikan sesuai prinsip-prinsip Perseroan Terbatas.

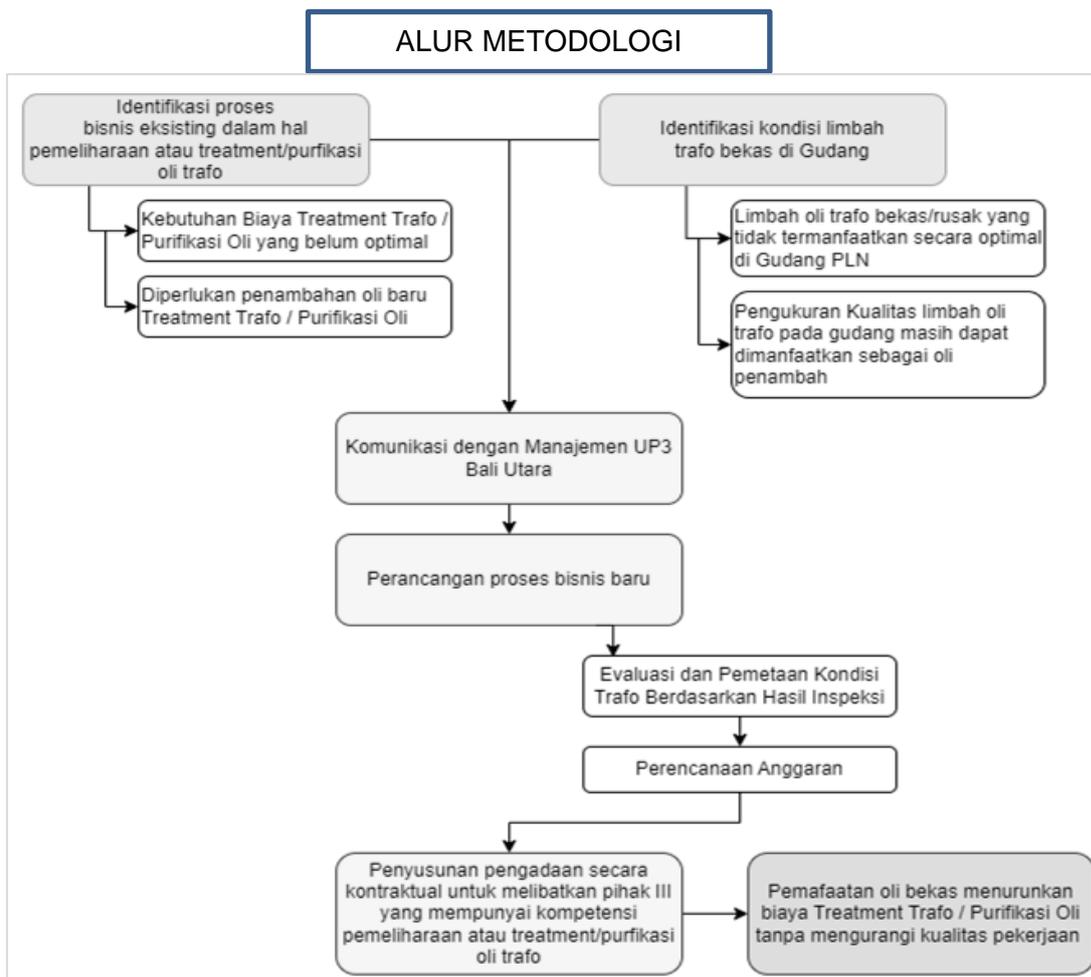
Tegangan dan frekuensi yang baik serta tingkat keandalan jaringan adalah bagian dari mutu pelayanan yang harus terjaga. Untuk selalu menjaga mutu ini, diperlukan usaha-usaha dalam mempertahankan kualitas peralatan distribusi agar selalu dalam kondisi optimal salah satunya adalah pemeliharaan atau *maintenance*. Salah satu bagian peralatan distribusi yang mempunyai peran penting untuk selalu dijaga kualitasnya adalah unit transformator 20 kV (trafo). Sebagaimana diketahui peralatan ini berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah 20 kV menuju tegangan rendah untuk disalurkan ke sisi pelanggan [1]. Proses pemeliharaan unit trafo di unit UP3 Bali Utara kondisi sebelumnya masih dilakukan secara korektif karena keterbatasan anggaran yaitu pada saat terjadi indikasi kebocoran oli pada trafo. Hal utama yang diperhatikan dalam pemeliharaan trafo adalah kualitas oli/pelumas sebagai pendingin dan isolasi pada trafo distribusi.

Disatu sisi, pada proses bisnis UP3 Bali Utara yang lain, dikelola sejumlah kuantitas limbah oli trafo bekas yang diperoleh dari trafo-trafo yang dikategorikan rusak dan tidak dapat dipergunakan lagi yang hanya dilakukan penyimpanan sementara dan selanjutnya dijual kepada mitra dengan harga relatif rendah. Dalam konsep *Circular Economy*, diketahui bahwa diperlukan usaha memperbaiki sistem ekonomi linier dengan mengurangi sampah/limbah dan mengoptimalkan pemanfaatan barang, bahan, serta sumber daya secara berulang kali dengan fokus untuk peningkatan produktivitas serta menekan biaya produksi [2]. Dari hal ini, trepikirkan ide untuk mengubah proses bisnis yang sedang berjalan menjadi konsep dimana aset-aset PLN secara global dapat dimaksimalkan nilai penggunaannya sehingga tidak ada sumber daya yang terbuang atau dimanfaatkan secara kurang optimal. Pemanfaatan oli trafo bekas dengan metode purifikasi oli, nyatanya adalah suatu hal yang telah dilakukan pada proses pemeliharaan oli trafo yang beroperasi namun belum dilaksanakan pada oli bekas sisa trafo rusak yang tersimpan digudang. Dengan aplikasi ini, tentunya akan dapat menaikkan nilai oli bekas sisa trafo rusak, sehingga dapat dimanfaatkan kembali sebagai penambahan oli akibat kebocoran dan penguapan pada trafo. Hal ini sejalan dengan misi perusahaan untuk menjalankan bisnis kelistrikan yang berwawasan lingkungan dan juga sejalan dengan kode etik ke insinyuran dalam menjaga kepentingan masyarakat.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Metodologi

Adapun alur metodologi dari penelitian ini secara skematik dapat digambarkan pada bagan berikut :



Gambar 1. Alur Metodologi

2.2. Circular Economy

Circular Economy merupakan konsep yang memperbaiki sistem ekonomi linier dengan mengurangi sampah dan mengoptimalkan pemanfaatan barang, bahan, serta sumber daya secara berulang kali. Prinsip utama *Circular Economy* terdiri dari eliminasi sampah, polusi, residu produk dengan cara memanfaatkan bahan secara optimal [3].

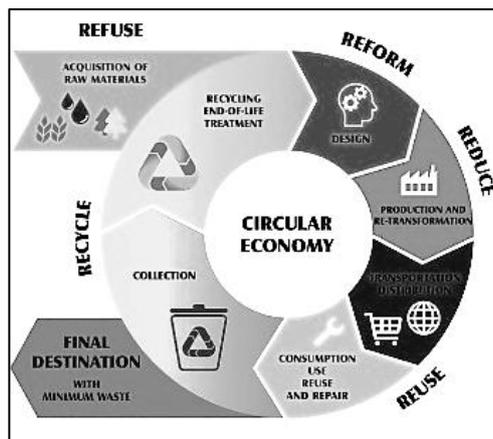
Circular Economy adalah paradigma ekonomi yang fokus pada reduksi pemanfaatan sumber daya alam, mengurangi limbah, dan mengoptimalkan penggunaan barang dan energi. Cara kerjanya melibatkan mekanisme seperti daur ulang, memperbaiki, dan menggunakan kembali produk-produk, serta mendorong model usaha yang lebih berdasarkan kolaborasi antarmuka pelanggaran [4].

Prinsip utama *Circular Economy* meliputi:

1. *Reduce*: Menurunkan penggunaan sumber daya alam dan mengurangi limbah dengan cara mengoptimalkan proses produksi dan penggunaan barang.
2. *Reuse*: Memperpanjang kehidupan barang dengan menggunakan mereka kembali secara efisien.
3. *Recycle*: Merubah limbah menjadi bahan baku baru untuk industri baru.
4. *Repair*: Mendukung perbaikan dan restorasi barang yang rusak agar masih dapat digunakan.

5. *Remanufacture*: Memperbarui dan memperbaiki barang bekas untuk mengurangi penggunaan sumber daya alam yang baru.

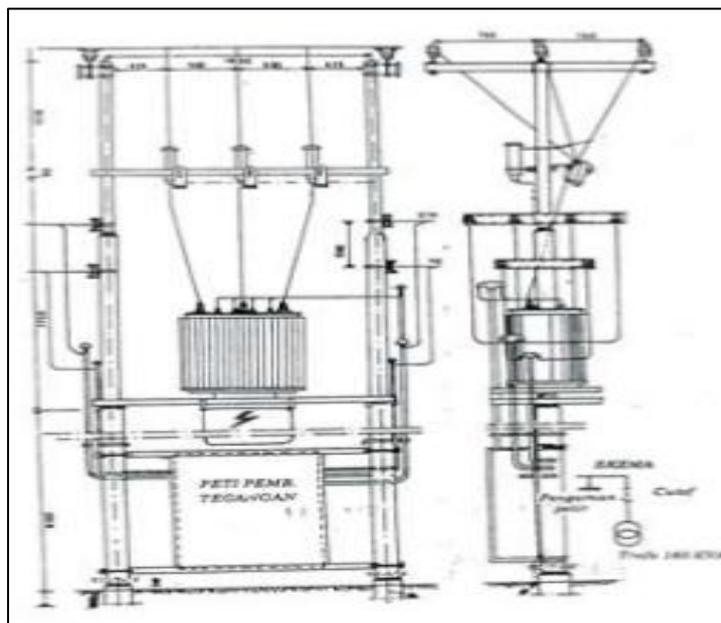
Circular Economy telah ditempuh oleh berbagai industri, mulai dari tekstil, elektronik, sampai dengan industri konstruksi. Contoh implementasi dalam skala kecil termasuk upaya masyarakat untuk mengubah sampah menjadi barang bercahaya dan bernilai ekonomi. Implementasi *Circular Economy* dapat membringhasilkan manfaat seperti reduksi biaya produksi, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan mereduksi dampak lingkungan. Namun, untuk mencapai target *Circular Economy*, perlu ada kolaborasi antarmuka pelanggaran antara pemerintah, industri, dan Masyarakat [5].



Gambar 2. Konsep *circular economy* [2]

2.3. Gardu Distribusi

Gardu distribusi adalah salah satu komponen penting dalam sistem kelistrikan. Gardu distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan menengah ke tegangan rendah agar dapat disalurkan ke konsumen [6].



Gambar 3. Gardu distribusi [7]

Panel hubung bagi (PHB) TM, (PHB) TR, dan transformator distribusi terletak di dalam suatu rangkaian gardu distribusi. Transformator distribusi beroperasi pada 20kV/380 volt, yang terdiri dari satu rangkaian PHB-TM, FCO (*fuse cut out*), *arrester* (penangkap petir), NH fuse, serta rel pada PHB, dan juga *headbump* yang tersusun atas satu rangkaian lengkap [8]. Secara umum, gardu distribusi dibagi ke dalam beberapa jenis, berdasarkan bagaimana mereka ditempatkan, dibangun, dan digunakan. Gardu distribusi dibagi menjadi pasangan dalam (gardu beton/gardu tembok/gardu kios) dan pasangan luar (gardu portal/gardu cantol). Ada dua jenis gardu penggunaan: gardu penggunaan umum yaitu gardu yang digunakan untuk melayani pelanggan listrik tegangan rendah mulai dari 450VA-33.000VA dimana penggunaannya satu gardu untuk beberapa pelanggan dan yang kedua adalah gardu khusus dimana gardu ini dalam penggunaannya satu gardu digunakan untuk melayani satu pelanggan khusus.

2.4. Gardu Distribusi

Minyak transformator, juga dikenal sebagai isolator trafo, adalah bahan isolasi cair yang digunakan untuk mengisolasi dan mendinginkan transformator. Untuk melakukan kedua fungsinya, minyak transformator harus memiliki kemampuan berikut :

- Menahan tegangan tembus (nilai tegangan tembus yang lebih tinggi menunjukkan kualitas isolasi transformator yang lebih baik).
- Berfungsi sebagai bahan pendingin, transformator harus mampu meredam panas yang dihasilkan oleh operasinya. Untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan, transformator harus dilengkapi dengan sistem pendinginan.
- Karena transformator dapat menghasilkan senyawa gas sebagai akibat dari penuaan dan gangguan selama beroperasi, kenaikan suhu yang berlebihan dapat menyebabkan loncatan bunga api di dalam belitan transformator. Oleh karena itu, transformator juga berfungsi sebagai alat untuk memadamkan busur api.
- Melindungi belitan dan bodi transformator dari terjadinya oksidasi dan korosi. Minyak transformator adalah minyak mineral yang dibuat setelah minyak mentah dimurnikan. Ini juga dapat berasal dari bahan organik seperti piranol dan silicon.

3.2. Minyak Isolasi Pakai
Rekomendasi ini berlaku untuk transformator berkapasitas > 1 MVA atau bertegangan > 36 kV

No.	Sifat minyak isolasi	Tegangan Peralatan	Batas yang diperbolehkan	Metode Uji	Tempat Uji
1.	Tegangan tembus	≥ 170 kV 70-170 kV ≤ 70 kV	≥ 50 kV/2,5 mm ≥ 40 kV/2,5 mm ≥ 30 kV/2,5 mm	IEC 156	Ditempat/ Laboratorium
2.	Kandungan air	≥ 170 kV ≤ 170 kV	≤ 20 mg/l ≤ 30 mg/l	ISO R 760	Laboratorium
3.	Faktor kebocoran dielectric	Semua tegangan	≤ 0,2 – 2,0	IEC 247 IEC 250 (90°C)	Laboratorium
4.	Tahanan Jenis	Semua tegangan	1,0 GΩ.m	IEC 93 dan IEC 247	Laboratorium
5.	Angka kenetralan	Semua tegangan	≤ 0,5 mg KOH/gr	IEC 296	Ditempat/ Laboratorium
6.	Sedimen		tidak terukur	IEC 296	Laboratorium
7.	Titik nyala		Penurunan maksimum 15°C	IEC 296	Laboratorium
8.	Tegangan Permukaan		≥ 15x10 ⁻³ Nm ⁻¹	IEC 296	Laboratorium
9.	Kandungan Gas	≥ 170 kV	*)	Sedang digarap oleh IEC	Sedang digarap oleh IEC

*) Merujuk Publikasi IEC 599(1978): "Interpretation of the analysis of gases in transformers and other oil-filled electrical equipment in service", yang baru terbit. Dalam publikasi IEC ini disebutkan bahwa metode uji dilaksanakan dengan alat kromatograf gas, tetapi tidak diuraikan metodanya.

Gambar 4. Standart minyak isolasi [9]

2.5. Gardu Distribusi

Purifikasi adalah proses pemurnian minyak trafo melalui beberapa tahapan dan prosedur menggunakan bagian dan peralatan purifikasi untuk meningkatkan kualitas minyak sehingga nilai tegangan tembus mencapai tingkat yang diinginkan. Minyak di dalam transformator tidak hanya berfungsi sebagai insulator tetapi juga berfungsi sebagai pendingin [10]. Untuk merawat minyak trafo dengan cara purifikasi, perlu dilakukan pengujian tegangan tembus sebelum dan sesudah purifikasi untuk mengetahui kondisi minyak. Jika nilai tegangan tembus kurang dari standar, purifikasi harus dilakukan untuk meningkatkan kualitas minyak [11]. Perawatan minyak trafo ini harus dilakukan secara berkala untuk mencapai hasil terbaik untuk trafo..



Gambar 5. Alat purifikasi trafo [12]

Adapun beberapa penelitian mengenai manfaat purifikasi ini diantaranya:

1. Pengaruh Filterisasi Minyak Trafo Terhadap Kinerja Transformator Daya 30 MVA di Gardu Induk Sengkaling
Didapatkan bahwa: Sebelum purifikasi berdasarkan laju degradasi DGA dengan metode TDCG secara eksponensial (24 Agustus 2015) umur trafo adalah = $24/08/2015 - 12/06/2013 = 2$ tahun 2 bulan 12 hari. Namun setelah proses purifikasi didapatkan berdasarkan laju degradasi DGA dengan metode TDCG secara eksponensial (20 September 2013): = $26/08/2021 - 20/09/2013 = 7$ tahun 11 bulan 6 hari. Maka dapat dikatakan umur trafo meningkat 5 tahun lebih [13].
2. Perbaikan Nilai Tegangan Tembus Minyak Isolasi Trafo Nynas Lybra dengan Purifikasi Menggunakan Arang Aktif Tongkol Jagung
Didapatkan hasil pengujian terhadap tegangan tembus yang awalnya dibawah standar setelah trafo di lakukan purifikasi maka hasil tegangan tembus dilakukan pengujian diatas rata-rata standar [14].
3. Evaluasi Unjuk Kerja Trafo Berpendingin Minyak BHT03 Di Rsg–Gas
Dari penelitian ini didapatkan manfaat purifikasi pada tiga kali pengujian Dimana yang awalnya dibawah standar $\geq 30KV/ 2,5cm$ SPLN 49-1:1982 namun setelah dilakukan purifikasi tahanan minyaknya melonjak cukup jauh dengan melebihi standar yang ditentukan [15].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Identifikasi Masalah

Pemeliharaan unit trafo 20 kV yang saat ini dilakukan di UP3 Bali Utara adalah pemeliharaan secara korektif pada saat terjadi indikasi kebocoran oli pada trafo yang beroperasi dengan pertimbangan keterbatasan anggaran. Proses utamanya adalah pemurnian atau purifikasi oli pada trafo dengan peralatan *Transformer Oli Purification Plant*. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses purifikasi oli trafo yaitu menghilangkan atau mengurangi kontaminasi fisik yaitu partikel-partikel, kandungan air, kandungan gas, dan lain-lain pada oli trafo yang masih tersisa, kemudian melakukan pengukuran atas tegangan tembus. Selanjutnya dilakukan penambahan oli baru untuk mengisi kehilangan oli pada trafo akibat penguapan saat proses operasi ataupun oli yang hilang akibat kebocoran trafo. Adapun identifikasi kondisi eksisting dijelaskan melalui paparan data sbb:

1. Berdasarkan data historikal pemeliharaan trafo di tahun 2021 dan 2022 di UP3 Bali Utara, jumlah oli yang di-treatment/dipurifikasi dari 82 unit trafo sebanyak 20.555 liter dengan jumlah penambahan oli baru sebanyak 608 liter (kisaran sampai dengan 5% tiap unit trafo).

Tabel 1. Data Historikal Pemeliharaan Trafo Tahun 2021 dan 2022 (PLN UP3 Bali Utara)

TAHUN	JUMLAH TRAFO (UNIT)	JUMLAH OLI YANG DIPURIFIKASI (LITER)	JUMLAH PENAMBAHAN OLI (LITER)
2021	51	12951	412
2022	31	7604	196
TOTAL	82	20.555	608

Berdasarkan data nilai kontrak pekerjaan maka biaya yang dibutuhkan untuk pembelian oli sebagai penambah adalah senilai 608 liter x Harga Oli baru (Rp 30.062/liter) = Rp18,606,016,-

2. Data ini adalah realisasi pekerjaan berdasarkan kontrak dengan pihak III yang bekerja sama dengan PLN sesuai kontrak:
 - a. 0016.SPBJ/DAN.01.03/B050200000/2021,
 - b. 0056.SPBJ/DAN.01.03/B050200000/2021,
 - c. 0021.SPBJ/DAN.01.03/B050200000/2022.

Selanjutnya pada tahun 2023 pekerjaan pemeliharaan gardu dibuat melalui pengadaan langsung berdasarkan Surat Nomor 1888/STH.01.02/F05020000/2023 oleh unit UP3 Bali Utara sambil menunggu terbitnya kontrak KHS dari Unit Induk Distribusi (UID) Bali.

3. Di sisi lain, terdapat limbah oli trafo bekas diperoleh dari trafo-trafo yang dikategorikan rusak dan tidak dapat dipergunakan lagi yang hanya dikelola dengan proses penyimpanan sementara pada Gudang PLN UP3 Bali Utara. Oli bekas ini dikelola dengan dijual kepada mitra dengan harga yang relatif rendah. Adapun data Limbah B3 (termasuk di dalamnya oli trafo) yang dijual kepada pihak ketiga tahun 2022 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Data Limbah B3 yang diangkut Pihak III tahun 2022 (Kontrak Penjualan Oli UID Bali)

LAMPIRAN BERITA ACARA SERAH TERIMA LIMBAH B3
No. 0255.BA/KLH.00.01/C0500000/2022

DAFTAR LIMBAH B3 YANG DIANGKUT
PT SABENA ERAKA LAUDA
SPK NO. 0006.SPK/UAN.01.03/C0500000/2021

No	Jenis Limbah	Tgl. Pengangkutan	Lok. Pengambilan	Jml.	Unit	No. Manifes	Jml. (Liter)	Harga Satuan (Rp)	Nilai Perolehan (Rp)
1	Oli Bekas Trafo	07 Juli 2021	Gudang Tohpati	5,12	Ton	RX 0010087	5.885,0	Rp 750,00	Rp 4.413.750,0
2	Oli Bekas Trafo	07 Juli 2021	Gudang Tohpati	1,92	Ton	RX 0010074	2.206,0	Rp 750,00	Rp 1.654.500,0
3	Oli Bekas Trafo	07 Juli 2021	Gudang Pemaron	0,8	Ton	RX 0010073	919,0	Rp 750,00	Rp 689.250,0
4	Oli Bekas Trafo & Recloser	12 Agustus 2021	Gudang Kapal	0,8	Ton	RX 0009180	919,0	Rp 750,00	Rp 689.250,0
5	Oli Bekas Trafo	02 September 2021	Gudang Tohpati	1,75	Ton	RX 0009348	2.011,0	Rp 750,00	Rp 1.508.250,0
6	Oli Bekas Trafo	02 September 2021	Gudang Tohpati	1,8	Ton	RX 0009347	2.068,0	Rp 750,00	Rp 1.551.000,0
7	Oli Bekas Trafo	06 September 2021	Gudang Pemaron	1,44	Ton	RX 0010089	1.655,0	Rp 750,00	Rp 1.241.250,0
8	Oli Bekas Trafo	18 November 2021	Gudang Tohpati	6,38	Ton	RX 0010636	7.333,0	Rp 750,00	Rp 5.499.750,0
9	Oli Bekas Trafo	18 November 2021	Gudang Tohpati	2,08	Ton	RX 0010627	2.390,0	Rp 750,00	Rp 1.792.500,0
10	Oli Bekas Trafo	04 Februari 2022	Gudang Pemaron	3,847	Ton	RX 0010985	4.421,0	Rp 750,00	Rp 3.315.750,0
11	Oli Bekas Trafo	08 Februari 2022	Gudang Tohpati	4,48	Ton	RX 0010984	5.149,0	Rp 750,00	Rp 3.861.750,0
12	Oli Bekas Trafo	10 Februari 2022	Gudang Tohpati	6,08	Ton	RX 0010983	6.988,0	Rp 750,00	Rp 5.241.000,0
13	Oli Bekas Trafo	10 Februari 2022	Gudang Kapal	0,32	Ton	RX 0010982	357,0	Rp 750,00	Rp 275.250,0
14	Battery Aki	10 Februari 2022	Gudang Kapal	60	Kg	RX 0010982	-	Rp 3.000,00	Rp 180.000,0
15	Oli Bekas Trafo	19 April 2022	Gudang Pemaron	0,561	Ton	RX 0011430	644,0	Rp 750,00	Rp 483.000,0
16	Oli Bekas Trafo	21 April 2022	Gudang Tohpati	4,74	Ton	RX 0011429	5.448,0	Rp 750,00	Rp 4.086.000,0
17	Oli Bekas Trafo	21 April 2022	Gudang Tohpati	1,334	Ton	RX 0011428	1.533,0	Rp 750,00	Rp 1.149.750,0
18	Oli Bekas Trafo	19 Mei 2022	Gudang Tohpati	3,78	Ton	RX 0011392	4.344,0	Rp 750,00	Rp 3.258.000,0
19	Battery Aki	19 Mei 2022	Gudang Kapal	3.319	Kg	RX 0011393	-	Rp 3.000,00	Rp 9.957.000,0
							Total Limbah Oli Bekas :	54.280,0 liter	Rp 40.710.000,0
							Total Limbah Battery :	3.379,0 kg	Rp 10.137.000,0
							Total		Rp 50.847.000,0
							PPN 11%		Rp 5.593.170,0
							Total Penagihan		Rp 56.440.170,0

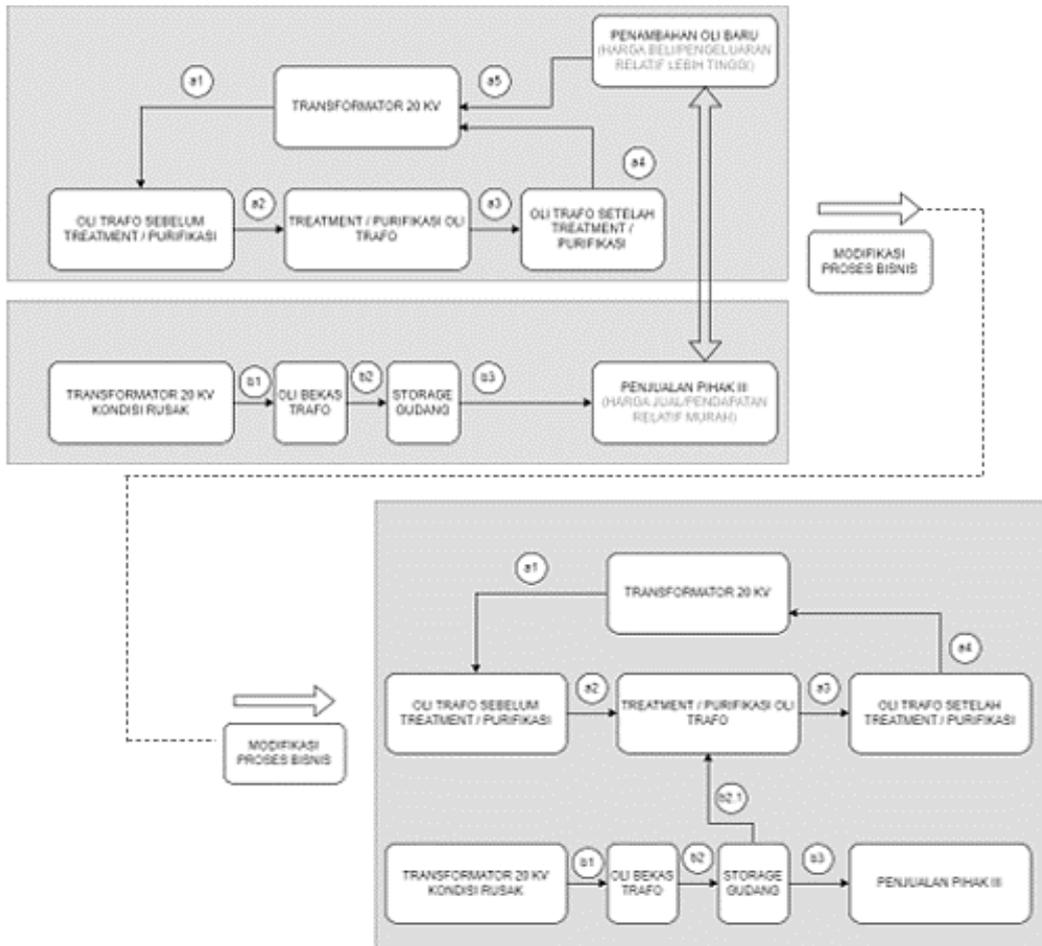
Terbilang : Lima puluh enam juta empat ratus empat puluh ribu seratus tujuh puluh rupiah.

Dari data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa Total Penjualan oli trafo bekas di UP3 Bali Utara (Gudang Pemaron) tahun 2022 sebanyak 7.639 liter dengan rupiah pendapatan senilai Rp 5.729.250,-

- Dari uraian pada poin sebelumnya, dan dengan mengambil kondisi ideal maka terdapat potensi penghematan anggaran pembelian oli baru pada proses treatment oli trafo yang dapat dilakukan. Nilai ini berpotensi lebih besar lagi apabila proses bisnis yang baru ini dapat diaplikasikan diseluruh UP3 dalam wilayah kerja UID Bali dan perencanaan pemeliharaan trafo dapat dilakukan secara preventif (time based) untuk meningkatkan kinerja unit trafo yang ada saat ini.

3.2. Analisis Penyelesaian Masalah

Pemeliharaan treatment oli pada unit transformator dengan metode purifikasi adalah suatu proses yang telah dilakukan dimana pada prosesnya diperlukan tambahan oli baru sebagai pengisi oli yang hilang pada trafo akibat penguapan ataupun kebocoran selama operasi. Pada proses lainnya, terdapat limbah oli trafo rusak yang tersimpan digudang yang tidak dikelola dan langsung dijual kepada pihak ketiga dengan harga relatif rendah. Dengan menghubungkan kebutuhan akan oli baru sebagai penambah dengan pemanfaatan limbah oli bekas di Gudang yang disusun melalui suatu proses bisnis yang dimodifikasi maka akan diperoleh potensi keuntungan yang selama ini belum diaplikasikan secara maksimal.

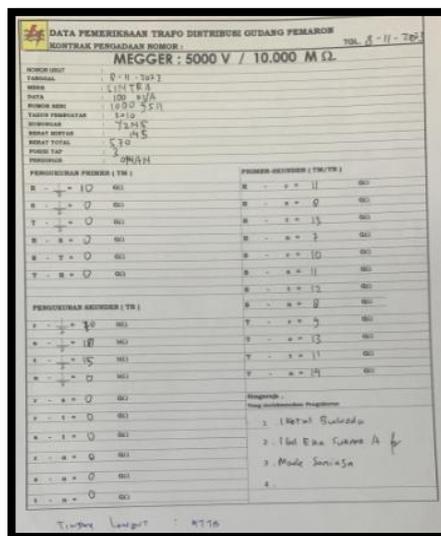


Gambar 6. Skematik Alur Penyelesaian Masalah

3.3. Implementasi

Berikut adalah tahapan implementasi Pemanfaatan limbah oli trafo guna optimalisasi *maintenance* trafo dengan konsep *circular economy* melalui proses purifikasi di PLN UP3 Bali Utara.

- Indikasi kerusakan transformator 20 kV berdasarkan BA.



Gambar 7. BA indikasi kerusakan trafo 20 kV

- Identifikasi Limbah oli trafo rusak yang masih bisa digunakan sebagai oli penambah pada trafo berdasarkan visual check kondisi Trafo dan kecenderunagn warna oli.



Gambar 8. Visual Check Kondisi Trafo

- Rangkuman data trafo yang terdindikasi bocor untuk diterbitkan perintah kerja kepada pihak III sesuai dengan kontrak yang berlaku

NO	TAHUN	MERK / KAPASITAS TRAFO (KVA)	KAPASITAS OLI (LITER)
1	2023	TRAFIINDO 250KVA	320
2	2023	TRAFIINDO 160 KVA	320
3	2023	B&D 250 KVA	390
4	2023	TRAFIINDO 160 KVA	320
5	2023	TRAFIINDO 250KVA	320
6	2023	B&D 250 KVA	390
7	2023	VOLTRA 100 KVA	210
8	2023	VOLTRA 250 KVA	310

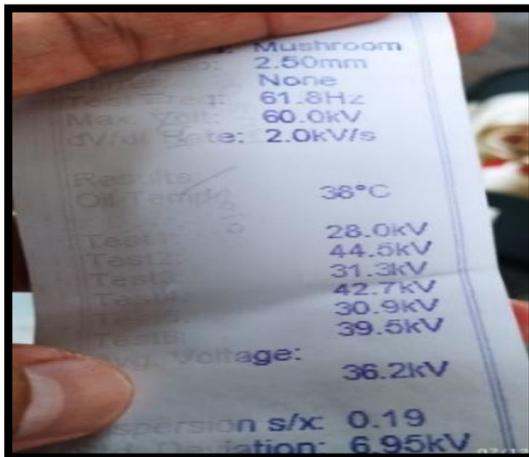
Gambar 9. Data Trafo Yang Terdindikasi Bocor

- Pemeriksaan parameter limbah oli penambah dengan visual cek dengan kondisi warna oli cenderung bening.



Gambar 10. Visual Cek Kondisi Warna Limbah Oli

- Pengujian tegangan tembus limbah oli penambah di Gudang PLN.



Gambar 11. Visual Cek Kondisi Warna Limbah Oli

- Pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan/perbaikan berupa penggantian *seal/packing* trafo.



Gambar 12. Penggantian Seal/Packing Trafo

- Penambahan limbah oli bekas sebagai oli penambah.



Gambar 13. . Penambahan limbah oli bekas sebagai oli penambah

- Proses purifikasi oli/pelumas pada trafo.



Gambar 14. . Penambahan limbah oli bekas sebagai oli penambah

3.4. Evaluasi Hasil Implementasi

Berikut adalah evaluasi hasil Implementasi Pemanfaatan limbah oli trafo guna optimalisasi *maintenance* trafo dengan konsep *circular economy* melalui proses purifikasi di PLN UP3 Bali Utara:

- Hasil pengujian treatment purifikasi dengan tambahan oli baru.

Sebelum Purifikasi	Setelah Purifikasi
<p>Megger OTS60PB 101708357</p> <p>F/W Version: 1.15 Std. Lib. Version: 0.10</p> <p>Test Id:</p> <p>Date: 01/09/2022 Time: 13:07</p> <p>IEC 60156-95</p> <p>Oil Type: Mineral/Ester</p> <p>Electrodes: Mushroom Elec. Gap: 2.50mm Stirrer: None Test Freq: 61.8Hz Max. Volt: 60.0kV dV/dt Rate: 2.0kV/s</p> <p>Results: Oil Temp: 29°C</p> <p>Test1: 43.6kV Test2: 47.2kV Test3: 33.3kV Test4: 27.0kV Test5: 26.0kV Test6: 34.9kV Avg. Voltage: 35.4kV</p> <p>Dispersion s/x: 0.24 Std. Deviation: 8.51kV</p>	<p>Megger OTS60PB 101708357</p> <p>F/W Version: 1.15 Std. Lib. Version: 0.10</p> <p>Test Id:</p> <p>Date: 01/09/2022 Time: 13:41</p> <p>IEC 60156-95</p> <p>Oil Type: Mineral/Ester</p> <p>Electrodes: Mushroom Elec. Gap: 2.50mm Stirrer: None Test Freq: 61.8Hz Max. Volt: 60.0kV dV/dt Rate: 2.0kV/s</p> <p>Results: Oil Temp: 34°C</p> <p>Test1: 60.2kV Test2: 60.2kV Test3: 60.1kV Test4: 60.2kV Test5: 60.2kV Test6: 60.1kV Avg. Voltage: 60.2kV</p> <p>Dispersion s/x: 0.00 Std. Deviation: 0.05kV</p>

Gambar 15. Hasil pengujian treatment pusifikasi dengan tambahan oli baru

Sesuai standar yang berlaku sesuai SPLN 49-1:1982 maka dapat dilihat bahwa pada proses purifikasi oli mampu mengembalikan kualitas oli sehingga tegangan tembus berada pada angka rata-rata 60.2 kV dari nilai sebelum purifikasi terdapat angka minimal pada test ke 5 sebesar 26.5 kV.

- Hasil pengujian limbah oli bekas (sampling)



Gambar 16. Hasil pengujian sampling kualitas limbah oli bekas

Dari hasil pengujian tegangan tembus kualitas limbah oli relatif masih bagus namun memang belum memenuhi standar SPLN pada Tes 1 yaitu di bawah 30 kV.

- Hasil pengujian treatment pusifikasi dengan tambahan oli bekas.

Sesuai standar yang berlaku yaitu SPLN 49-1:1982 maka dapat dilihat bahwa pada proses purifikasi oli mampu mengembalikan kualitas oli sehingga tegangan tembus berada pada angka rata-rata 60.0 kV dari nilai sebelum purifikasi adalah rata-rata 21.4 kV. Selain itu warna visual oli setelah dipurifikasi adalah lebih bening/jernih dibandingkan sebelum purifikasi yang terlihat ada kotoran dan berwarna kuning



Gambar 17. Warna Fisik Oli Sebelum dan Sesudah Dilakukan Purifikasi

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, kesimpulan dari karya ilmiah ini adalah sebagai berikut:

1. Implementasi konsep *circular economy* melalui proses purifikasi limbah oli trafo ini dapat memberikan manfaat untuk perusahaan secara finansial adalah sebesar Rp 207,895.63/unit trafo. Dengan kata lain jika hal ini dimanfaatkan dengan trafo yang tersebar di seluruh PLN

UID Bali maka hal ini dapat meningkatkan nilai manfaat secara finansial yang lebih besar. implementasi ini tidak hanya memberikan manfaat secara langsung di sisi finansial, namun dengan adanya implementasi ini maka secara tidak langsung akan menunjang penghematan disisi biaya investasi/operasi. Dimana dengan pengaplikasian metode ini maka dengan nilai kontrak yang sama maka dapat dihasilkan treatment trafo yang lebih banyak. Hal ini dikarenakan metode yang lama menggunakan oli baru dengan adanya biaya penambahan oli baru sebesar Rp. 28.015/liter (KHS Yandu UID Bali 2019) namun dengan menggunakan metode ini maka hal ini dapat dihilangkan dan hanya membayar jasa purifikasinya saja sebesar Rp.4.840/liter (KHS Yandu UID Bali 2019).

2. Implementasi ini dapat mengubah paradigma bahwa limbah oli trafo hanya dapat dijual dengan harga yang murah ke pihak ketiga. Dimana sejauh ini berdasarkan data tahun 2022 penjualan oli di UID Bali dijual ke pihak ketiga dengan nilai Rp.750/liter. Dengan implementasi ini maka oli yang dulunya hanya sebagai limbah akan ditingkatkan secara *value* dan dapat dimanfaatkan kembali (re-use) menjadi hal yang lebih bermanfaat sehingga mendukung kegiatan berwawasan lingkungan sesuai misi ke insinyuran.
3. Implementasi ini juga dapat mengurangi angka gangguan trafo dimana dengan kita melakukan treatment trafo melalui metode purifikasi oli trafo maka akan meningkatkan umur trafo itu sendiri sehingga rasio kerusakan trafo dapat ditekan.

4.2. Saran

1. Pemeliharaan trafo sebaiknya dilakukan tidak secara korektif namun dapat dilakukan secara *timebase* sehingga langkah-langkah preventif dapat mengurangi potensi pada kerusakan trafo (breakdown).
2. Disarankan kegiatan ini dapat dilakukan pada seluruh unit-unit di PLN sehingga dapat memberikan nilai manfaat baik secara finansial maupun non finansial yang lebih besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Dr. Ir. Abdul Syakur, S.T., M.T., IPU. dan Dr. Ir. Pawenary, MT., MPM., IPU., ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing, Prof. Dr. Ir. Widayat, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng. selaku Kepala Prodi Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi (UID) Bali yang telah memberikan kelonggaran waktu kepada saya untuk melanjutkan studi di tengah kesibukan bekerja, rekan-rekan Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro TA Genap 2023/2024 yang menjadi tempat berdiskusi terkait dengan perkuliahan dan juga untuk seluruh keluarga yang telah menjadi support system dan pemberi semangat di dalam menyelesaikan perkuliahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bs. Soedjono, Instalasi dan Alat-Alat listrik. BANDUNG: TITIAN ILMU, 1995.
- [2] A. Marichova, "Circular Economy and Strategic Management of the Construction Company," Ovidius University Annals of Constanta - Series Civil Engineering, vol. 23, no. 1, pp. 35–44, Dec. 2021, doi: 10.2478/ouacsce-2021-0004.
- [3] M. Negrete-Cardoso, G. Rosano-Ortega, E. L. Álvarez-Aros, M. E. Tavera-Cortés, C. A. Vega-Lebrún, and F. J. Sánchez-Ruíz, "Circular economy strategy and waste management: a bibliometric analysis in its contribution to sustainable development, toward a post-COVID-19 era," Environmental Science and Pollution Research, vol. 29, no. 41, pp. 61729–61746, Sep. 2022, doi: 10.1007/s11356-022-18703-3.

- [4] H. Habibi, R. A. Syabana, and T. Adi, “Pelatihan Pembuatan Eco-Souvenir Berbahan Dasar Limbah Plastik Di Desa Marengan Daya Kabupaten Sumenep,” 2023.
- [5] K. Sarah Edinov, S. Edinov, G. Tono Rancak, R. Wahyudi, L. Wiyani, and I. Gadis Prabasari, “Artikel Nusantara Technology and Engineering Review Carbon Capture and Storage dan Circular Economy: Tinjauan Sistematis dan Arah Penelitian di Masa Depan,” NTER, vol. 1, no. 1, pp. 19–30, 2023, [Online]. Available: <https://journal.unusida.ac.id/index.php/nter/>
- [6] A. Kadir, Transformator. Jakarta: Elex Media Komputindo, 1989.
- [7] D. Suswanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang: Universitas Negeri Padang, 2009.
- [8] Suhadi dkk, Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1 SMK. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [9] PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA, “SPLN 49-1 : 1982,” JAKARTA, 1982.
- [10] M. K. Gradnik, Physical-chemical oil tests, monitoring and diagnostics of oil-filled transformers. 2002. doi: 10.1109/ICDL.2002.1022739.
- [11] M. S. Naidu and V. Kamaraju, High voltage engineering. McGraw-Hill, 1996.
- [12] F. Pramudya, P. Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro, and P. Negeri Lhokseumawe, “Studi Proses Purifikasi Dan Rekonsiliasi Minyak Transformator Dengan Penambahan Senyawa Fenol Pada PT. PLN (PERSERO) UPT Banda Aceh UIP3B Sumatera,” JURNAL TEKTRON, vol. 05, no. 02, 2021.
- [13] R. H. Widodo and H. Suyono, “Pengaruh Filterisasi Minyak Trafo Terhadap Kinerja Transformator Daya 30 Mva Di Gardu Induk Sengkaling,” 2014.
- [14] S. Jahidi, A. Indah Pratiwi, and F. S. Eka Putra, “Perbaikan Nilai Tegangan Tembus Minyak Isolasi Trafo Nynas Lybra dengan Purifikasi Menggunakan Arang Aktif Tongkol Jagung,” 2020, doi: 10.26905/santei.v1i1.3098.
- [15] A. and K. I. K. and Y. S. Y. Asep Saepuloh, “Evaluasi Unjuk Kerja Trafo Berpendingin Minyak BHT03 di RSG–GAS,” 2006