

Mitigasi Biaya dan Resiko Pemanfaatan Trafo Obsulate dan Kondisi Buruk pada PLN UPT Palembang untuk Mendapatkan Biaya Operasional yang Optimum

Abrori Pasaransi¹, Rinaldy Dalimi², Muhammad Ferdillah Ghalib³

Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat 16425, Indonesia

¹ aboypasaransi1@gmail.com

² rinald@eng.ui.ac.id

³ ferdillahghalib7@gmail.com

Intisari — Trafo merupakan salah satu aset transmisi yang berfungsi menyalurkan daya dari tegangan tinggi menjadi tegangan rendah ataupun sebaliknya pada frekuensi yang sama. Pada dasarnya trafo akan mengalami pemburukan, baik karena lama operasi, pembebanan yang tinggi, terkena gangguan maupun perubahan suhu lingkungan. Hal ini mengakibatkan pemburukan material isolasi, kerusakan salah satu komponen trafo yang mengakibatkan penurunan efisiensi trafo. Di PLN UPT Palembang memiliki 57 buah trafo yang pada tahun 2024 ada 5 buah trafo terhitung sudah beroperasi selama >30 tahun, sementara PLN menetapkan umur operasi trafo yang berusia di atas 30 tahun termasuk dalam kategori sangat tua. Dari pengujian terakhir, diperoleh hasil inspeksi CBM level 1 berupa kebocoran minyak trafo serta hasil inspeksi CBM level 3 juga memperlihatkan adanya pemburukan isolasi bushing maupun belitan dengan hasil uji tan delta bernilai lebih dari standar 1%, tidak hanya itu saja tapi Indeks Polaritas dari tahanan isolasi pun sudah melebihi standar. Apabila tidak dilakukan tindakan perbaikan, dikhawatirkan trafo akan mengalami breakdown. Tindakan perbaikan yang bisa dilakukan meliputi penggantian komponen trafo ataupun penggantian trafo secara keseluruhan mengingat usianya yang sudah sangat tua. Untuk memutuskan tindakan mitigasi yang cocok, maka dilakukan analisis risk, cost, dan benefit menggunakan analisis multikriteria. Harapannya, 5 buah trafo obsulate dan kondisi buruk PLN UPT Palembang tetap dapat beroperasi optimal dan andal. Setelah dilakukan analisis multikriteria, maka didapatkan opsi mitigasi penggantian trafo secara keseluruhan lebih baik sebesar 0,50 dibandingkan perbaikan ataupun penggantian komponen trafo, serta secara signifikan menurunkan risiko kegagalan sebesar 60,54% yang berdampak 38% deviasi terhadap target kinerja perusahaan serta memenuhi regulasi lingkungan hidup

Kata kunci — Trafo, Analisis Risiko, Condition Based Maintenance, Analisis Multikriteria

Abstract — Transformers are one of the key transmission assets that function to transfer power from high voltage to low voltage, or vice versa, at the same frequency. Over time, transformers will inevitably deteriorate due to prolonged operation, heavy loading, electrical disturbances, or changes in ambient temperature. This leads to the degradation of insulation materials and damage to transformer components, resulting in decreased transformer efficiency. At PLN UPT Palembang, there are 57 transformers, and as of 2024, five of them have been operating for more than 30 years. According to PLN regulations, transformers that have been in service for over 30 years are classified as very old. The most recent inspections revealed several issues: CBM (Condition-Based Maintenance) Level 1 inspection detected oil leaks, while CBM Level 3 inspection showed insulation deterioration in the bushings and windings, with tan delta test results exceeding the standard value of 1%. Additionally, the Polarization Index of the insulation resistance also surpassed standard limits. If no corrective actions are taken, these transformers are at high risk of failure. Possible corrective measures include replacing certain components or replacing the entire transformer, considering their very old age. To determine the most appropriate mitigation action, a multi-criteria analysis was conducted, taking into account risk, cost, and benefits. The analysis concluded that full transformer replacement is the better mitigation option, with a score 0.50 higher than component repair or partial replacement. This option significantly reduces the risk of failure by 60.54%, minimizes the potential 38% deviation from company performance targets, and ensures compliance with environmental regulations.

Keywords— Transformer, Risk Analysis, Condition-Based Maintenance, Multi-Criteria Analysis

I. PENDAHULUAN

PT PLN (Persero) sebagai perusahaan penyedia jasa kelistrikan terbesar di Indonesia, bertanggung jawab atas pasokan listrik bagi seluruh pelanggan. Listrik dibangkitkan dari pembangkit melalui saluran transmisi dan distribusi sehingga pelanggan dapat menggunakan listrik tersebut. Sistem penyaluran diharapkan dapat beroperasi dengan andal, dimana listrik yang dihasilkan dapat disalurkan dengan baik ke pelanggan. Salah satu komponen vital yang berfungsi dalam sistem penyaluran listrik adalah trafo daya. Untuk menjaga ketersediaan dan mutu tenaga listrik, PT PLN (Persero) menetapkan trafo daya dengan umur operasi 20 – 30 tahun masuk kategori tua. Jika trafo sudah beroperasi lebih dari 30 tahun, trafo tersebut masuk dalam kategori sangat tua. Namun, kadang kenyataannya di lapangan menunjukkan bahwa trafo daya yang sudah tua masih dapat beroperasi dengan baik[1]. Salah satu unit PLN yang mengelola aset trafo daya di pulau sumatera adalah PLN UPT Palembang. Trafo ini beroperasi di bay trafo yang berada di dalam gardu induk[2]. Rincian trafo yang berada di bawah pengelolaan PLN UPT Palembang adalah sebanyak 57 unit dengan rincian 13 unit IBT dan 44 unit trafo daya sesuai dengan Tabel 1.

Untuk menjaga kestabilan trafo, PT PLN (Persero) melakukan pemeliharaan rutin pada trafo-trafo tersebut. Pemeliharaan trafo daya dibagi ke dalam dua kelompok, saat trafo bertegangan dan saat tidak bertegangan. Pemeliharaan adalah salah satu cara yang dilakukan perusahaan untuk merawat aset yang ada serta signifikan untuk menjaga *asset life cycle*. Dalam praktiknya, perusahaan harus memilih strategi pemeliharaan yang sesuai dengan analisis dan kebutuhan masing-masing peralatan. Salah satu pemeliharaan yang bisa dipilih

dalam menyusun strategi pemeliharaan adalah *Condition Based Maintenance* (CBM), dimana pemeliharaan dilakukan apabila kondisi peralatan telah sampai pada batasan yang ditentukan. Apabila pemeliharaan terlambat untuk dilakukan pemeliharaan, peralatan akan masuk level kekritisannya sebelum jadwal pemeliharaan berikutnya. Untuk itu, dalam praktiknya diperlukan inspeksi dan pengujian. Data dari inspeksi dan pengujian kemudian dianalisis menjadi kesimpulan. Proses analisis data disebut sebagai kegiatan *assessment* kondisi peralatan yaitu proses penilaian keadaan fisik dan fungsi peralatan untuk menentukan tindakan pencegahan terhadap kegagalan yang mungkin terjadi. Berdasarkan hasil *assessment* terakhir dari 57 trafo di PLN UPT Palembang, didapatkan hasil ada 5 buah trafo yang mengalami pemburukan material isolasi dan kebocoran minyak sesuai dengan Tabel 2. Pemburukan ini dapat memicu trafo mengalami breakdown jika dikenai gangguan besar dan pola operasi yang tidak benar.

Hasil *assessment* yang digunakan biasanya terangkum dalam tingkat kesehatan peralatan (*health index*) dan kerawanan (*susceptibility*). Kedua hasil *assessment* ini dianalisis ke dalam tabel kemungkinan kegagalan (*probability of failure*). *Probability of failure* diperlukan untuk memutuskan peralatan mana yang harus dimitigasi terlebih dahulu. Caranya adalah dengan memadukan nilai *probability of failure* dengan kritikaliti melalui matriks penentuan prioritas[3].

Pada kondisi yang kompleks untuk menentukan opsi mitigasi yang paling tepat dari hasil *assessment* kondisi trafo di PLN UPT Palembang dapat menggunakan teknik analisis keputusan multikriteria. Metode pengambilan keputusan ini berlandaskan bahwa pada dasarnya, setiap keputusan itu bersifat unik.

Tabel 1. Data Trafo di PLN UPT Palembang

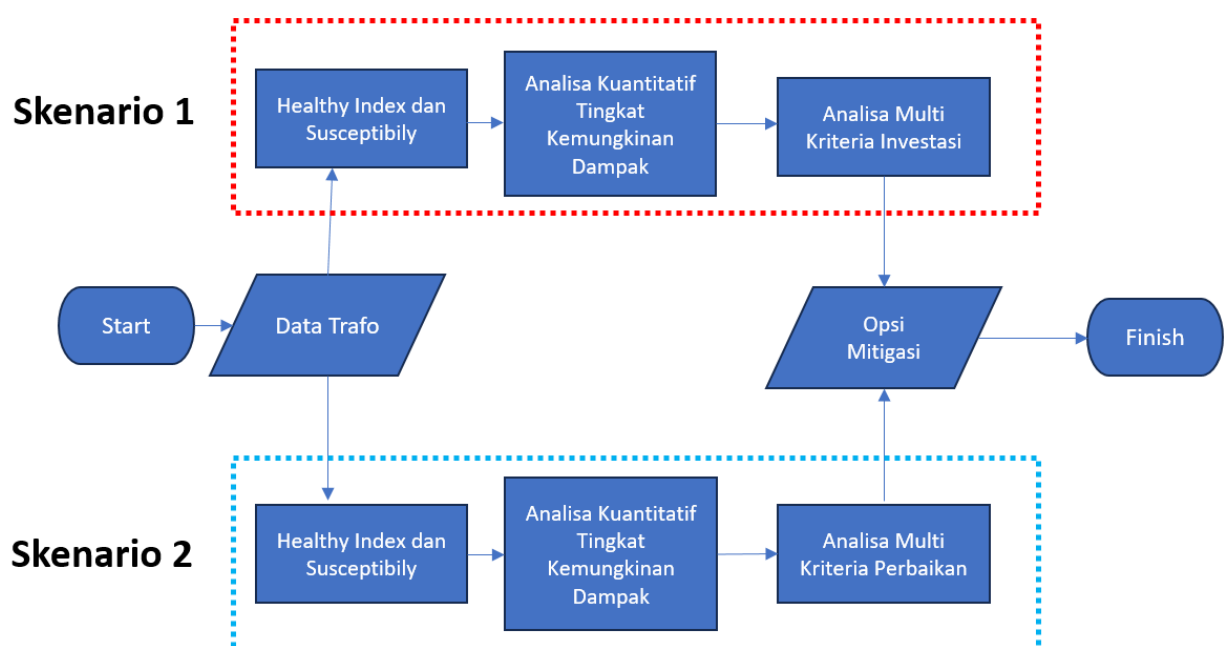
Trafo	Tahun Operasi	Merk
TD#1 60 MVA GI Betung	2017	Unindo
TD#2 60 MVA GI Betung	2019	ABB
IBT#1 (R) 250 MVA GITET Betung	2018	CG Pauwels
IBT#1 (S) 250 MVA GITET Betung	2018	CG Pauwels
IBT#1 (T) 250 MVA GITET Betung	2018	CG Pauwels
IBT#2 (R) 250 MVA GITET Betung	2018	CG Pauwels
IBT#2 (S) 250 MVA GITET Betung	2018	CG Pauwels
IBT#2 (T) 250 MVA GITET Betung	2018	CG Pauwels
TD#1 30 MVA GI Boombaru	2005	Unindo
TD#2 30 MVA GI Boombaru	2019	B & D
IBT#1 100 MVA GI Borang	1996	Pauwels
IBT#2 100 MVA GI Borang	2010	Pauwels
TD#1 60 MVA GI Borang	2019	PASTI
TD#2 30 MVA GI Borang	2009	Unindo
TD#1 30 MVA GI Bukit Siguntang	2014	Pauwels
TD#2 30 MVA GI Bukit Siguntang	2012	Pauwels
TD#3 30 MVA GI Bukit Siguntang	2011	Pauwels
TD#1 30 MVA GI Bungaran	2014	CG Pauwels
TD#2 30 MVA GI Bungaran	2015	Unindo
TD#1 60 MVA GI Gandus	2019	Unindo
TD#2 60 MVA GI Gandus	2016	Unindo
TD#1 60 MVA GI Kayu Agung	2018	CG Pauwels
TD#1 60 MVA GI Kenten	2017	CG Pauwels
TD#2 60 MVA GI Kenten	2018	CG Pauwels
IBT#1 100 MVA GI Keramasan	2009	Pauwels
IBT#2 100 MVA GI Keramasan	2009	Pauwels
TD#2 30 MVA GI Keramasan	2015	Unindo
TD#3 60 MVA GI Keramasan	2009	Pauwels
TD#1 30 MVA GI Mariana	2014	CG Pauwels
TD#2 60 MVA GI Mariana	2019	ABB
TD#1 60 MVA GI New Jakabaring	2016	Unindo
TD#2 60 MVA GI New Jakabaring	2017	Pauwels
TD#1 30 MVA GI Seduduk Putih	2014	Pauwels
TD#2 30 MVA GI Seduduk Putih	2003	Unindo
TD#1 30 MVA GI Sekayu	2020	B & D
TD#1 30 MVA GI Sungai Juaro	2017	Unindo
TD#2 20 MVA GI Sungai Juaro	1994	XIAN
TD#1 30 MVA GI Sungai Kedukan	2015	Unindo
TD#2 15 MVA GI Sungai Kedukan	1991	Unindo
IBT#1 (R) 250 MVA GITET Sungai Lilin	2017	CG Pauwels
IBT#1 (S) 250 MVA GITET Sungai Lilin	2017	CG Pauwels
IBT#1 (T) 250 MVA GITET Sungai Lilin	2017	CG Pauwels
TD#1 60 MVA GI Talang Kelapa	2013	Unindo
TD#3 60 MVA GI Talang Kelapa	2014	CG Pauwels
TD#1 10 MVA GI Talang Ratu	1979	Osaka
TD#3 30 MVA GI Talang Ratu	2015	Unindo
TD#2 30 MVA GI Tanjung Api Api	2013	Changdong
TD#1 60 MVA GIS Kota Timur	2018	Unindo
TD#2 60 MVA GIS Kota Timur	2020	Pauwels
IBT#1 100 MVA GIS Kota Timur	2020	Pauwels
TD#1 60 MVA GIS Kota Barat	2018	Unindo
TD#2 60 MVA GIS Kota Barat	2020	Pauwels
ZigZag IBT#1 GI Keramasan	2018	CG Power
ZigZag IBT#2 GI Keramasan	1979	ASEA
ZigZag IBT#1 GI Borang	1979	ASEA
ZigZag IBT#2 GI Borang	2010	CG Power

Tabel 2. Hasil CBM Level 3 Trafo PLN UPT Palembang

Trafo	Results	Rank / HI (Condition)
TD#1 10 MVA GI Talang Ratu	TanD Bush (S) : 1,25% TanD Bush (T) : 1,487% TanD Cable (R) : 2,31% TanD Cable (N) : 3,96%	7 / 1 (Poor)
TD#2 15 MVA GI Sungai Kedukan	CHG : 1,191% CHL : 1,682% CHL + CHG : 1,562% CLG : 1,288% CLH : 1,681% CHL + CLG : 1,471%	8 / 1 (Poor)
TD#2 20 MVA GI Sungai Juaro	TanD Bush (S) : 1,15%	7 / 1 (Poor)
Trafo ZigZag #2 GI Keramasan	Insultest 1' : 437 Mohm Insultest 10' : 504 Mohm IP : 1,15	5 / 6 (Fair)
Trafo ZigZag #1 GI Borang	CHG : 59% Insultest 1' : 0,41 Mohm Insultest 10' : 0,56 Mohm IP : 1,36	10 / 1 (Poor)

Tabel 3. Pengklasifikasian Kelas 1, 6, 9 untuk setiap item inspeksi

No	Sub	Level	Item	Kondisi		
				9	6	1
1	Bushing	3	Tan Delta	<0,5%	0,5 – 1%	>1%
2	Dielectric	2	Kadar Air (ppm)	<5	5 - 15	>15
		2	Tegangan Tembus (kV)	>50	40 - 50	<40
		2	Kadar Asam (mgKOH/g)	<0,5%	0,5 – 1%	>1%
		2	Interfacial Tension (mN/m)	>28	22 - 28	<22
		2	DGA	DCG Kondisi 1	DCG Kondisi 2	Min 1 DCG Kondisi 2
		3	Tan Delta Belitan	<0,5%	0,5 – 1%	>1%
		3	Indeks Polarisasi Tahanan Isolasi	<1	1 < IP < 1,25	>1,25



Gbr. 1 Penentuan Opsi Mitigasi

Teknik ini juga dikenal dengan nama teknik MCDA (*Multi Criteria Decision Analysis*) yang dapat digunakan untuk membandingkan beberapa opsi kriteria dalam mengambil satu keputusan bahkan jika kriteria tersebut bertentangan[4]. Dalam penelitian ini untuk melakukan tindakan mitigasi terhadap kondisi trafo yang *obsolete* dan memiliki hasil *assessment* kondisi buruk dimulai dengan perhitungan kuantitatif untuk tingkat kemungkinan dan dampak dari resiko kegagalan isolasi atau *breakdown* yang dapat mengurangi keandalan dari sistem listrik di Palembang. Selanjutnya identifikasi untuk menentukan opsi mitigasi paling optimal antara perbaikan komponen trafo yang kondisi buruk atau penggantian trafo secara total, dengan menggunakan Teknik Analisis Multikriteria. Harapannya, trafo tetap dapat beroperasi optimal dan andal untuk menghindari pemadaman pelanggan yang dapat merusak citra dari perusahaan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menganalisis kritikalitas dari 5 Trafo *Obsolete* dan Kondisi Buruk (*Poor*) PLN UPT Palembang berdasarkan data inspeksi *Condition Base Maintenance* level 1, 2, dan 3 serta data perawatan untuk menentukan *health index* dan *susceptibility* trafo. Perhitungan Analisa Kuantitatif Distribusi Poisson pun dilakukan untuk menghitung tingkat kemungkinan dan dampak dari kegagalan penyaluran energi listrik yang disebabkan oleh kegagalan trafo. Hasil analisis digunakan untuk menilai prioritas mitigasi. Selanjutnya, kedua opsi mitigasi akan diidentifikasi dan dibandingkan menggunakan teknik analisis multi kriteria dengan mempertimbangkan kriteria-kriteria penting, seperti kelayakan mitigasi, risiko, biaya investasi, dan aspek ekonomi sesuai dengan Gambar 1.

Nilai dan bobot kriteria ditentukan oleh para ahli untuk memperoleh prioritas optimal. Hasil perhitungan disusun dalam tabel dan dianalisis untuk menentukan opsi mitigasi paling efektif bagi kelima trafo tersebut.

A. Health Index Trafo

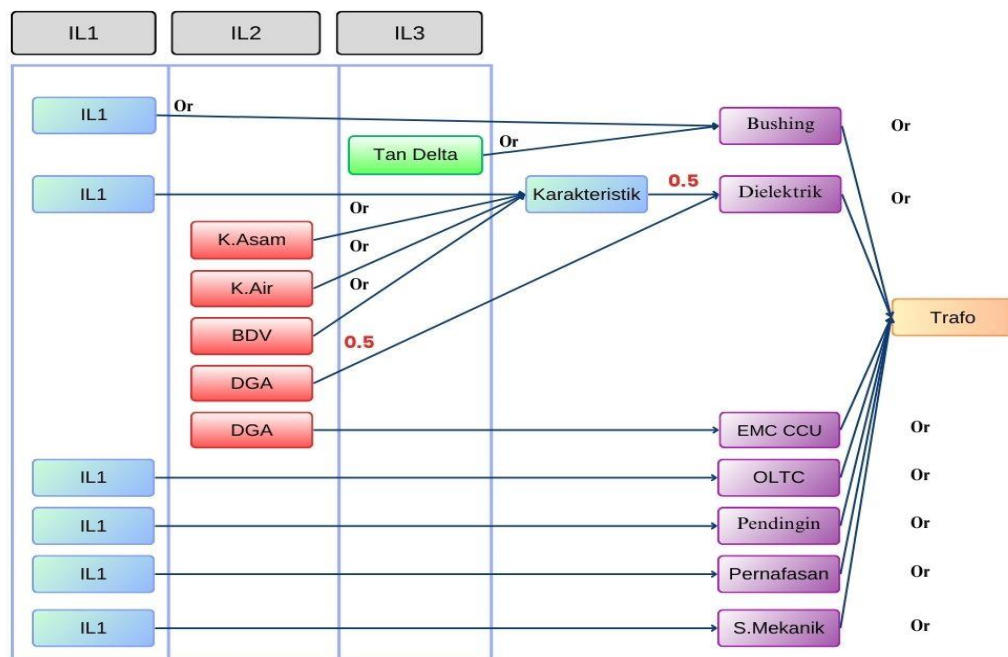
Proses *assessment* trafo dimulai dengan *Condition Base Maintenance* inspeksi level 1 berupa pengamatan visual, dilanjutkan inspeksi level 2 secara *online*, dan inspeksi level 3 dalam kondisi *offline*, dengan masing-masing level memiliki parameter spesifik seperti TanD (tan delta), kadar air, tegangan tembus, dan lain sebagainya sesuai dengan Gambar 2. Parameter-parameter ini mewakili kondisi subsistem trafo seperti bushing dan dielectric. Untuk menentukan *health index* trafo, digunakan logika OR (Boolean) yang mengacu pada nilai terburuk dari hasil inspeksi, mengacu pada klasifikasi kondisi dari SK Dir 520. Hasil inspeksi memberikan informasi terkait potensi anomali, saran perbaikan sederhana, serta kebutuhan pengujian lanjutan seperti tabel 3.

B. Susceptibility Trafo

Penentuan *susceptibility* peralatan dilakukan dengan menggunakan *norm* untuk mengkonversi parameter *susceptibility* menjadi indeks 1, 6, dan 9 seperti tabel 4. Indeks dari tiap parameter *susceptibility* ini dihitung nilai rata-ratanya untuk kemudian dikonversi lagi menjadi indeks 1, 6, dan 9.

C. Probability Of Failure Trafo

Nilai *probability of failure* dari peralatan diukur dengan memasukkan nilai *health index* dan *susceptibility* dari hasil pengamatan dan pengujian sebelumnya ke matriks *risk assessment* sesuai dengan Gambar 3. Nilai yang diperoleh dari matriks tersebut akan menunjukkan resiko *probability of failure* dari peralatan. Huruf A adalah nilai dengan resiko terendah dan huruf E mewakili nilai resiko tertinggi.



Gbr. 2 Alur Assesment Health Index Trafo [6]

Health Index	1	C	D	E
	6	B	C	D
	9	A	B	C
		9	6	1
Susceptibility				

Gbr. 3 Matriks Risk Assesment [1]

D. Prioritas Pekerjaan Trafo

Dalam proses penentuan prioritas pekerjaan, selain *health index* dan *probability of failure*, PT PLN (Persero) juga memperhitungkan area yang disupply oleh gardu induk tersebut. Ada 4 level kritikaliti gardu induk, dimana level 4 merupakan level kritikaliti tertinggi sementara level 1 merupakan level terendah. Level kritikaliti ini ditentukan oleh kombinasi area yang disupply oleh gardu induk. Jika suatu gardu induk menyediakan listrik untuk 3 level area yang berbeda, kritikaliti yang dipilih adalah level kritikaliti tertinggi sesuai dengan Gambar 4.

Berdasarkan data dari perhitungan *susceptibility* trafo *obsolete* di PLN UPT Palembang yang bernilai 6 dan dengan nilai *health index* trafo kondisi buruk yang

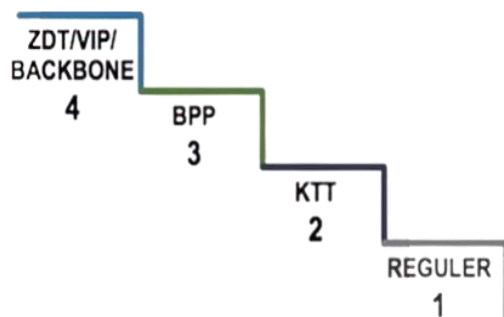
bernilai 1, maka *score of probability of failure* yang didapat adalah D. Apabila disandingkan dengan nilai 4 dari kritikaliti tiap gardu induknya, maka prioritas pekerjaan dari kelima trafo tersebut adalah prioritas 1 (merah) sesuai dengan Gambar 5.

E. Distribusi Poisson

Distribusi *poisson* digunakan untuk memodelkan jumlah kejadian suatu peristiwa dalam interval waktu atau ruang tertentu, dengan asumsi kejadian-kejadian tersebut terjadi secara acak dan independen. Dalam analisis risiko, distribusi *poisson* dapat digunakan untuk menghitung probabilitas berbagai skenario kejadian. Dampak dari setiap skenario kemudian dapat diukur secara kuantitatif.

Tabel 4. Norm Susceptibility Trafo

No	Parameter Resiko	Norm	
		Index	Batasan
1	rata-rata pembebanan (1th)	1	>90%
		6	60% - 90%
		9	<60%
2	through fault current (tfc)	1	>100%
		6	50% - 100%
		9	<50%
3	jenis pentanahan netral	1	>1 ohm
		6	0,1 - 1ohm
		9	<0,1ohm
4	umur	1	>25 th
		6	10 – 25 th
		9	<10 th
5	jenis beban	1	non linear
		9	Linear



Gbr. 4 Kombinasi Kritikaliti Gardu Induk [3]

Distribusi *poisson* memiliki kelebihan dibandingkan distribusi normal dalam memodelkan data diskrit yang mewakili jumlah kejadian langka yang dapat dideskripsikan dengan model matematika sesuai dengan persamaan (1).

$$P(x = k) = \frac{(\lambda^k x e^{-\lambda})}{k!} \quad (1)$$

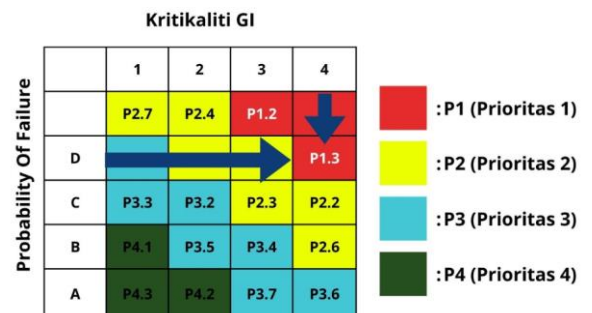
Persamaan (1) menjelaskan $P(x = k)$ merupakan Probabilitas bahwa variabel acak X sama dengan k (jumlah kejadian). λ merupakan rata-rata jumlah kejadian dalam interval waktu atau ruang tertentu. Untuk melakukan analisa kuantitatif tingkat kemungkinan dan dampak dengan distribusi *poisson*, perlu dilakukan pemodelan dengan pertimbangan batasan-batasan yang mengacu pada frekuensi kejadian. Batasan-batasan ini merupakan batasan sesuai dengan karakteristik yang dimiliki oleh distribusi *poisson*. Adapun batasan-batasan tersebut dideskripsikan dengan pemodelan matematis sesuai dengan persamaan (2) dan (3).

$$p(\leq 0,5 \text{ kali}) = p(0) \quad (2)$$

$$p(> 0,5 \text{ kali}) = 1 - p(\leq 0,5 \text{ kali}) \quad (3)$$

F. Metode Analisis Multi Kriteria

Metode analisis multi kriteria digunakan sebagai alat pembanding dari dua opsi mitigasi yang tersedia. Para pakar adalah stakeholder yang berperan dalam proses mitigasi trafo daya di PLN UPT Palembang. Mereka diminta mengisi peringkat nilai dan bobot dari kriteria yang tersedia. Stakeholder yang melakukan penilaian kriteria terdiri dari 8 orang staff, 4 orang supervisor dan 2 orang manager. Data yang sudah terkumpul lalu diproses untuk mendapatkan nilai dan bobot relatif untuk masing-masing kriteria. Nilai dan bobot relatif yang sudah didapat kemudian dijadikan sebagai parameter untuk membandingkan opsi mitigasi tersedia. Salah satu perhitungan yang dilakukan adalah perhitungan *energy not served* dari trafo jika mengalami *breakdown* ataupun gangguan menggunakan persamaan (5).



Gbr. 5 Penentuan prioritas menggunakan matriks

$$L_n(x) = P_n L_{(n-1)}(x) + Q_n L_{(n-1)}(x - MW) \quad (4)$$

$$ELDC_n = P_n ILDC(x) + Q_n ILDC(x - C_n) \quad (5)$$

Persamaan konvolusi untuk trafo ke- n dimana konvolusi terhadap probabilitas waktu merupakan ELDC ataupun probabilitas energi yang tidak dapat disalurkan oleh trafo.

$L_n(x)$: Konvolusi terhadap probabilitas waktu

P_n : Probabilitas unit trafo operasi

Q_n : FOR unit trafo ($Q_n = 1 - P_n$)

(x – MW) : Kapasitas Total Unit Trafo Setelah Beban Digeser Sebesar Kapasitas Trafo

Perhitungan ini didasarkan pada persamaan garis miring dari grafik antara probabilitas dan beban.

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (6)$$

$$y = mx + C \quad (7)$$

$$y = ILDC_x \quad (8)$$

Trafo obsolete dan kondisi buruk di PLN UPT Palembang harus segera ditindaklanjuti untuk mengatasi ketidaknormalan tersebut, Tindak lanjut yang dipilih didalam penelitian ini adalah penggantian trafo dan perbaikan trafo. Penggantian trafo adalah kegiatan mengeluarkan trafo yang lama dari lokasinya kemudian memasang dan mengoperasikan trafo yang baru. Artinya, kondisi trafo dalam kondisi yang baik karena baru beroperasi. Perbaikan trafo adalah kegiatan memperbaiki komponen yang sudah mengalami pemburukan. Komponen yang dipilih untuk diperbaiki adalah minyak trafo dan bushing. Minyak trafo diperbaiki dengan cara filter minyak yang memiliki tujuan untuk mengurangi kelembapan dan gas yang terlarut dalam minyak trafo. Sedangkan bushing diperbaiki dengan cara melakukan pekerjaan penggantian bushing.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses assesment dilakukan dengan penyusunan berdasarkan hasil pengujian *condition base maintenance* level 1, 2, dan 3. Optimasi dijalankan dengan perhitungan *score of probability of failure* dan analisis kuantitatif mengguakan distri busi *poisson*. Hasil optimasi membandingkan kriteria-kriteria dengan pemodelan dilakukan dengan penyusunan berdasarkan persamaan matematis (1)-(8) dimana opsi mitigasi berdasarkan kelayakan mitigasi, risiko, biaya investasi, dan aspek ekonomi.

A. Analisa Kemungkinan Dampak

Selama 6 tahun terakhir pada UPT Palembang terjadi gangguan trafo sebanyak rata-rata 0,93 kali/tahun yang berarti likelihood terjadinya gangguan diatas 0,27 kali per bulan selama satu tahun. Indikator kuantitatifnya adalah kali gangguan pada peralatan MTU bay trafo dan trafo yang menyebabkan padam atau *trip* di PLN UPT Palembang. Berdasarkan perhitungan analisa kuantitatif diatas, maka resiko residual gangguan peralatan MTU & transformator sampai dengan Februari 2025 mempunyai tingkat kemungkinan besar dengan probabilitas kejadian 60,54% yang dapat digambarkan pada histogram distribusi *poisson* dengan $\lambda = 0,93$ sesuai dengan Gambar 6(a). Penentuan tingkat dampak secara kuantitatif untuk resiko ini juga dilakukan dengan membandingkan rata-rata deviasi pencapaian terhadap target kinerja yang dikategorikan berdampak sangat signifikan yaitu sebesar 38% (>10% deviasi terhadap target). Tidak hanya kali gangguan saja, tapi untuk resiko kendala proses recovery gangguan trafo selama 6 tahun terakhir pada UPT Palembang total durasi gangguan trafonya rata-rata sebanyak 5,78 menit/tahun yang berarti likelihood terjadinya gangguan diatas 9,53 menit per bulan selama satu tahun. Berdasarkan perhitungan analisa kuantitatif diatas, maka resiko residual kendala proses recovery gangguan trafo sampai dengan Februari 2025 mempunyai tingkat kemungkinan sangat kecil dengan probabilitas kejadian 6,96% yang dapat digambarkan pada histogram distribusi *poisson* dengan $\lambda = 5,78$ sesuai dengan Gambar 6(b). Penentuan tingkat dampak secara kuantitatif untuk resiko ini juga dilakukan dengan membandingkan rata-rata deviasi pencapaian terhadap target kinerja yang dikategorikan berdampak sangat signifikan yaitu sebesar 18% % (>10% deviasi terhadap target). Indikator kuantitatifnya adalah durasi proses recovery gangguan trafo di PLN UPT Palembang.

Tabel 5. Hasil Analisis Multi Kriteria

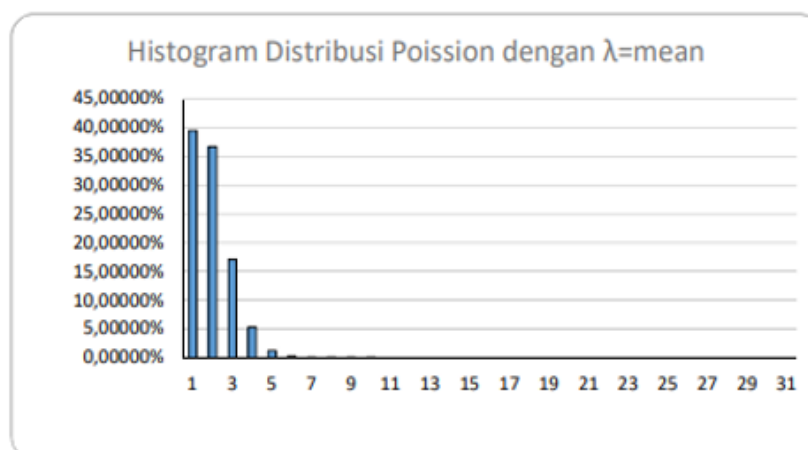
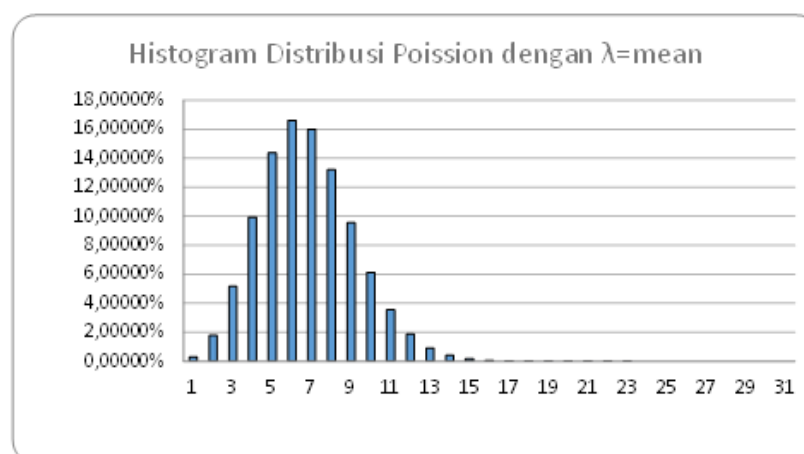
Kriteria	Bobot	Penggantian Trafo	Skor	Perbaikan Trafo	Skor
% kesiapan trafo	23	bagus (2)	0,46	sedang (1)	0,23
masa pakai	22	panjang (2)	0,44	pendek (0)	0
biaya	17	mahal (0)	0	murah (2)	0,34
rupiah ens	17	rp. 0,- (2)	0,34	rp. 6.113.684,- (1)	0,17
tingkat kepuasan pelanggan	21	puas (2)	0,42	puas (2)	0,42
total	100		1,66		1,16

B. Analisa Multi Kriteria

Kajian kelayakan finansial untuk uprating 1 buah trafo menjadi 30 MVA memiliki nilai investasi Rp. 19.831.010.000,- dengan IRR 13,18% sedangkan untuk perbaikan komponen trafo saja dengan tetap menggunakan trafo eksisting akan mengeluarkan biaya investasi sebesar Rp. 294.068.503,- dengan payback period dari kedua opsi mitigasi adalah 1 tahun.

Pada opsi mitigasi perbaikan komponen trafo yang rusak masih ada rupiah ENS yang berpotensi keluar sebesar Rp.6.113.684,-

dimana jika dipilih opsi penggantian trafo dengan cara uprating tentunya tidak ada rupiah ENS (Rp. 0,-) yang akan berpotensi keluar disebabkan trafo baru tanpa adanya anomali. Berdasarkan hasil analisis multi kriteria sesuai dengan Tabel 5, dapat dilihat skor penggantian trafo sebesar 1,66 sedangkan skor perbaikan trafo adalah 1,16. Penggantian trafo daya secara keseluruhan bernilai lebih tinggi pada tingkat efisiensi mesin (% kesiapan trafo dan rupiah ENS) dan lamanya masa pakai.

Gbr.6 Histogram Distribusi *Poisson* dengan λ Gbr.7 Histogram Distribusi *Poisson* dengan λ

IV. KESIMPULAN

Setelah mendapatkan hasil dan perbandingan dengan opsi mitigasi penggantian trafo dan perbaikan trafo dapat berpengaruh terhadap citra perusahaan dimana menghindari pemadaman pelanggan. Opsi penggantian trafo unggul dengan selisih nilai sebesar 0,50 untuk kelima trafo obsulate dan kondisi buruk. Opsi penggantian trafo memiliki nilai investasi yang jauh sangat besar dibandingkan dengan perbaikan trafo. Dengan melakukan pernggantian trafo dapat mengurangi potensi dampak resiko dari kegagalan trafo secara permanen, yang tidak diperoleh jika hanya melakukan perbaikan trafo karena manfaat yang hanya bersifat sementara. Dikarenakan adanya kebocoran minyak trafo yang menyebabkan area sekitar lingkungan trafo terkontaminasi maka perbaikan trafo yang bersifat temporer tidak bias memenuhi kriteria regulasi PP No. 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan di PLN yang telah berkontribusi dalam penyediaan data dan informasi yang diperlukan untuk penelitian ini. Dukungan serta kerja sama yang diberikan sangat membantu dalam proses analisis dan penyusunan hasil penelitian. Penulis juga menghargai waktu dan upaya yang telah diberikan oleh pihak terkait dalam memastikan ketersediaan data yang akurat dan relevan. Tanpa bantuan tersebut, penelitian ini tidak dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] Alijoyo, Dr. Antonius., Bobby, Wijaya M.M., Intan, Jacob M.M. (2000) Analisis Keputusan Multikriteria. Bandung: Indonesia. CRMS.
- [2] Mahendrayana, I Gusti Ngurah., Prazojo, Rahman Azis., Surawijaya, Sinanuri. (2019) Asset Wellness Calculation of Technical Diagnostic

and Risk Assesment. International Conference on High Voltage Engineering and Power System, 978-1-7281-2669-2.

- [3] Mendoza, Guillermo A. 1999. Panduan Untuk Menerapkan Analisis Multikriteria dalam Menilai Kriteria dan Indikator. CIFOR. Jakarta: Indonesia.
- [4] Nanette C. Kingma, Cees van Westen and Emile Dopheide. Cost-benefit Analysis. April 11, 2022 <https://www.cdema.org/virtuallibrary/index.php/charim-hbook/methodology/6-risk-reduction-planning/6-1-cost-benefit>
- [5] PT PLN (Persero). (2013). Director Decree No.149/K.DIR/2013 about The Replacement Criteria of The Substation Equipment in PT PLN (Persero)
- [6] PT PLN (Persero). “Director Decree No. 520: Maintenance Guideline”. Jakarta,2014.
- [7] PT PLN (Persero) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Barat. 2021. Panduan Evaluasi Derating Trafo & IBT. Jakarta, 2021.
- [8] Rifai, Deni F., Reza Asriandi E., Siti Rahma. “Analisis Multi Kriteria Dalam Pengembangan Jalan Lintas Barat Sumatera (Studi Kasus : Kecamatan Talang Padang, Provinsi Lampung). 2021 Journal of Infrastructure Planning and Design vol 1.
- [9] Tryolinna, A. (2019). Optimizing Stakeholder Management: Operational Decision Making for Transformer Replacement. 2019 International Conference on High Voltage Engineering and Power System, 978-1-7281-2669-2.