



Analisis Kinerja Trafo Distribusi pada ULP Medan Kota dan Penanggulangannya dengan Sisip Trafo

Winda Arista^{1*}, Siti Anisah², Pristisal Wibowo³

¹⁻³Teknik Elektro, Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia

*Penulis Korespondensi: windaarista88@gmail.com

Abstract. *Distribution transformers play a critical role in delivering electrical energy from medium-voltage networks to low-voltage consumers. At ULP Medan Kota, several distribution transformers have been operating with loads exceeding 80% of their nominal capacity, posing risks of overloading, efficiency reduction, and equipment failure. This study aims to analyze the performance of distribution transformers based on actual load data and evaluate mitigation strategies through the implementation of additional parallel transformers (trafo sisip). The methodology includes data collection, load and current calculation, and simulation of load distribution after transformer insertion. The results show that the installation of trafo sisip reduces the load on the main transformer by approximately 50% and significantly lowers the current to safer levels. Moreover, placing the trafo sisip at an optimal position minimizes voltage drop to as low as 0.0745 Volts. Therefore, the addition of trafo sisip is proven to enhance the reliability, efficiency, and operational life of the power distribution system at ULP Medan Kota.*

Keywords: *Distribution Transformer; Overload; Power System Reliability; Transformer Insertion; ULP Medan Kota.*

Abstrak. Trafo distribusi berperan penting dalam menyalurkan energi listrik dari jaringan tegangan menengah ke pelanggan tegangan rendah. Di ULP Medan Kota, beberapa trafo distribusi diketahui beroperasi dengan beban melebihi 80% kapasitasnya, yang berisiko menimbulkan kelebihan beban (overload), penurunan efisiensi, dan kerusakan peralatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja trafo distribusi berdasarkan data beban aktual dan mengevaluasi solusi penanggulangannya melalui penambahan trafo sisip. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data beban trafo, perhitungan arus dan persentase beban, serta simulasi pembagian daya pasca-penambahan trafo sisip. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan trafo sisip mampu menurunkan beban trafo utama hingga $\pm 50\%$ dan menurunkan arus distribusi ke tingkat yang lebih aman. Selain itu, penempatan trafo sisip pada posisi optimal dapat meminimalkan jatuh tegangan hingga 0,0745 Volt. Dengan demikian, penambahan trafo sisip terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan, efisiensi, dan umur operasional sistem distribusi tenaga listrik di ULP Medan Kota.

Kata kunci: Keandalan Sistem Distribusi; Overload; Sisip Transformator; Transformator Distribusi; ULP Medan Kota.

1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan industri. Di Kota Medan, sebagai salah satu kota besar di Indonesia, permintaan listrik yang tinggi menjadi tantangan bagi penyedia layanan listrik, terutama PT PLN (Persero) yang bertanggung jawab dalam penyediaan dan distribusi energi listrik. Salah satu komponen penting dalam sistem distribusi listrik adalah transformator, yang berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan tegangan listrik sesuai kebutuhan. Namun, seringkali terjadi masalah seperti transformator kontak yang dapat mengganggu kestabilan pasokan listrik.

Permasalahan yang dihadapi oleh ULP Medan Kota terkait transformator kontak cukup kompleks. Berdasarkan data dari PLN UP3 Medan, terdapat peningkatan frekuensi gangguan

pada transformator distribusi, terutama saat beban puncak. Misalnya, pada tahun 2022, tercatat lebih dari 150 gangguan yang disebabkan oleh overload pada transformator, yang berakibat pada pemadaman listrik di beberapa wilayah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem distribusi listrik perlu dikaji ulang untuk meningkatkan keandalannya. Gangguan ini tidak hanya mengganggu kenyamanan masyarakat, tetapi juga berdampak pada kegiatan ekonomi dan sosial.

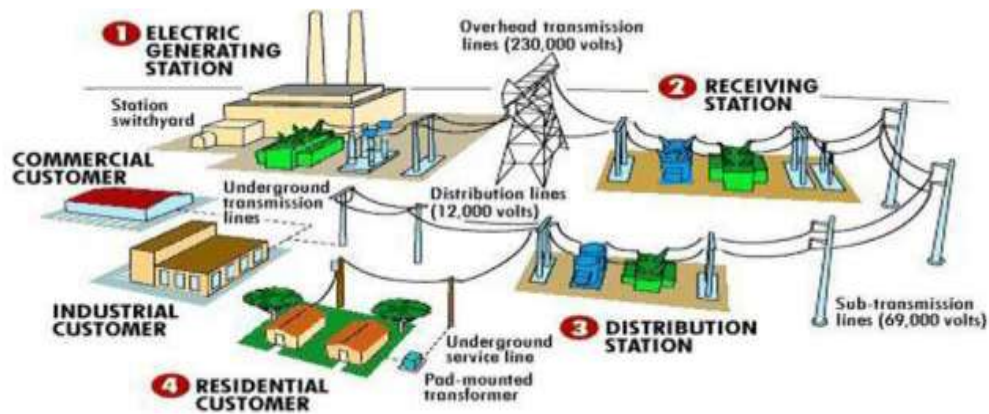
Sebagai alternatif solusi, salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah penambahan sisip transformator. Sisip transformator adalah transformator tambahan yang dipasang untuk meningkatkan kapasitas sistem dan mengurangi beban pada transformator utama. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan sisip transformator dapat mengurangi frekuensi gangguan akibat overload dan meningkatkan kualitas tegangan listrik yang diterima oleh pelanggan (Muhammad dkk., 2022). Dengan demikian, solusi ini berpotensi untuk mengatasi permasalahan yang ada di ULP Medan Kota.

Solusi yang dipilih dalam penelitian ini adalah menerapkan sisip transformator di lokasi strategis yang telah teridentifikasi sebagai titik rawan gangguan. Melalui analisis data beban dan pemetaan jaringan distribusi, diharapkan dapat ditemukan lokasi yang tepat untuk pemasangan sisip transformator. Selain itu, penelitian ini juga akan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis dari pemasangan sisip transformator sehingga keputusan yang diambil dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi PLN dan masyarakat (Daniati dkk., 2024).

2. KAJIAN TEORITIS

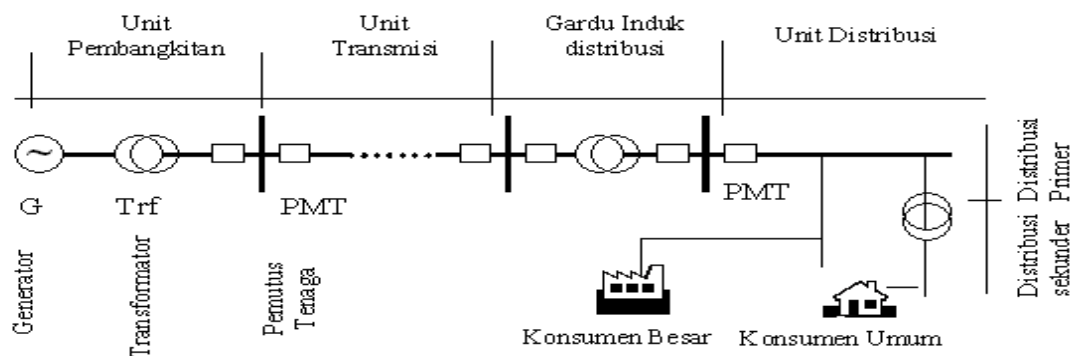
Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan suatu kesatuan yang terintegrasi mulai dari unit pembangkit listrik, unit transmisi listrik, sampai unit distribusi listrik dalam upaya menyalurkan listrik dari produsen kepada konsumen dengan dilengkapi sistem proteksi pada kesatuan tersebut. Menurut PT. PLN (Persero), ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu Pembangkitan, Penyaluran (Transmisi), dan Distribusi. Secara umum skema sistem tenaga listrik ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik.

Komponen dasar yang membentuk suatu sistem tenaga listrik adalah generator, transformator, saluran transmisi dan beban. Untuk keperluan analisis sistem tenaga, diperlukan suatu diagram yang dapat mewakili setiap komponen sistem tenaga listrik tersebut. Diagram yang sering digunakan adalah diagram satu garis dan diagram impedansi atau diagram reaktansi seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik.

Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah transformator yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari sistem distribusi tegangan menengah (20 kV) ke sistem tegangan rendah (380/220 V) untuk kebutuhan pelanggan akhir. Transformator ini biasanya dipasang di gardu distribusi dan beroperasi secara terus-menerus, sehingga efisiensi dan keandalannya sangat penting. Efisiensi transformator (η) adalah rasio daya keluar (output) terhadap daya masuk (input):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Overload pada Transformator

Overload pada transformator adalah kondisi di mana arus beban yang mengalir melalui transformator melebihi kapasitas nominal yang telah ditentukan oleh pabrikan. Kapasitas nominal ini biasanya dihitung berdasarkan standar suhu maksimum yang masih aman terhadap umur isolasi lilitan transformator. Ketika arus beban meningkat di atas kapasitas tersebut, panas berlebih (*overheating*) akan terjadi dan dapat mempercepat kerusakan isolasi, menurunkan efisiensi, serta memperpendek umur transformator.

Penyebab umum overload pada trafo distribusi yaitu, pertumbuhan beban pelanggan, misalnya penambahan peralatan listrik industri dan rumah tangga yang tidak sebanding dengan kapasitas transformator. Perpindahan beban dari trafo lain, dalam jaringan radial, bila salah satu trafo padam, maka beban akan dialihkan ke trafo lain. Perencanaan awal tidak sesuai, trafo yang dipasang mungkin tidak dirancang untuk menampung pertumbuhan beban jangka panjang. Kegagalan sistem proteksi atau monitoring, seperti fuse yang tidak bekerja saat beban tinggi.

Dampak overload pada transformator yaitu *overheating* dimana suhu transformator meningkat, menyebabkan degradasi minyak dan isolasi. Penurunan efisiensi seperti rugi-rugi tembaga (I^2R) meningkat signifikan. Kerusakan peralatan dimana kegagalan isolasi atau bahkan ledakan trafo. Pemadaman listrik ketika sistem proteksi dapat bekerja memutus suplai untuk menghindari kerusakan.

Overload biasanya dikenali dari nilai arus beban aktual yang melebihi arus nominal transformator. Nilai arus beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 berikut.

$$I_{beban} = \frac{S_{beban}}{\sqrt{3} \times V}$$

S_{beban} = daya beban dalam VA

V = tegangan antar fasa

I_{beban} = arus beban dalam ampere

Persentase overload dapat dihitung sebagai:

$$Persentase\ Beban = \frac{I_{beban}}{I_{nominal}} \times 100\% \quad (3)$$

Batas Toleransi Overload (PLN & IEEE C57.91-2011).

Tabel 1. Batas Toleransi Overload.

Persentase Beban	Durasi Maksimal	Keterangan
100%	Jangka Panjang	Batas normal
110–125%	< 2 Jam	Harus segera diturunkan
> 125%	< 30 Menit	Risiko kegagalan tinggi

Penanggulangan Overload dengan Trafo Sisip

Trafo sisip merupakan penambahan trafo baru di jaringan distribusi dengan tujuan membagi beban secara merata dari trafo yang mengalami overload. Dengan metode ini, beban yang semula ditanggung oleh satu trafo dapat disalurkan sebagian ke trafo sisip, sehingga mengurangi risiko kelebihan beban.

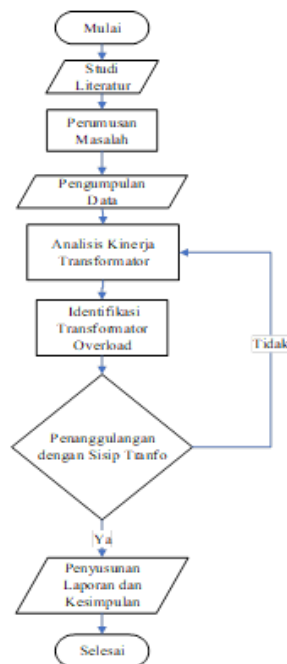
Perhitungan pembagian beban dapat dilakukan ketika beban total adalah P_{total} dan dua trafo digunakan secara paralel, maka pembagian beban ideal diperlihatkan pada Persamaan 4.

$$P_1 = \frac{S_1}{S_1 + S_2} \times P_{total} ,$$

$$P_2 = \frac{S_2}{S_1 + S_2} \times P_{total} \quad (4)$$

3. METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

**Gambar 3.** Diagram Alir Penelitian.

Jenis dan Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk memberikan solusi teknis terhadap permasalahan kelebihan beban pada transformator distribusi (trafo kontak) di wilayah kerja ULP Medan Kota. Fokus utama dari penelitian ini adalah melakukan analisis beban transformator berdasarkan data pengukuran aktual dan mengevaluasi alternatif solusi melalui penambahan transformator sisip (trafo sisip) sebagai bentuk penanggulangan teknis terhadap beban berlebih.

Ruang lingkup penelitian ini mencakup inventarisasi dan analisis beban trafo berdasarkan data kapasitas (kVA), persentase beban aktual (LWBP), dan lokasi gardu distribusi yang tersebar di jaringan ULP Medan Kota. Identifikasi gardu dengan kondisi overload, yaitu gardu yang memiliki beban di atas 80% dari kapasitas nominal transformator. Evaluasi dampak penambahan trafo sisip terhadap penurunan risiko kelebihan beban, keandalan distribusi, dan peningkatan umur operasional trafo utama.

Penelitian ini dibatasi pada pengolahan data dari hasil inspeksi lapangan dan pengukuran teknis yang dilakukan di ULP Medan Kota, serta simulasi berbasis pembagian arus beban tanpa mempertimbangkan perubahan sistem proteksi secara menyeluruh atau analisis finansial proyek pemasangan trafo sisip.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data sekunder (data lapangan PLN ULP Medan Kota). Data diperoleh dari hasil pengukuran dan pencatatan rutin yang dilakukan oleh petugas PLN. Data tersebut mencakup informasi penting dari seluruh trafo distribusi di wilayah kerja ULP Medan Kota, seperti nomor dan lokasi gardu distribusi, kapasitas transformator (kVA), dan beban aktual.

Data ini digunakan sebagai dasar dalam analisis kondisi eksisting transformator, terutama dalam mengidentifikasi trafo yang mengalami beban berlebih (overload).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

Penelitian berfokus pada transformator distribusi (trafo) dengan beban tinggi, khususnya trafo yang memiliki persentase beban mendekati atau melebihi 80% dari kapasitas nominal, sebagai dasar perlunya penambahan trafo sisip untuk mengurangi beban berlebih. Tabel 2 merupakan data trafo dengan kapasitas dan beban yang tinggi.

Tabel 2. Data Trafo dengan Kapasitas dan Beban Tinggi.

No	Kode Trafo	Kapasitas (kVA)	Beban (kW)	Persentase Beban (%)	Rekomendasi
1	DT211-1	250	243	97%	Sisip Trafo
2	DT045-1	250	238	95%	Sisip Trafo
3	DT122-1	250	225	90%	Sisip Trafo
4	DT500-1	250	220	88%	Sisip Trafo
5	DT069-1	250	215	86%	Sisip Opsional
6	DT446-1	250	205	82%	Sisip Opsional
7	DT139-1	250	198	79%	Pemantauan
8	DT423-1	200	160	80%	Pemantauan

Sisip trafo dapat ditempatkan diantara DT211-1 dan DT045-1 karena letaknya berdekatan dan sama-sama overload. Menggunakan SLD (single line diagram), posisi titik sisip diidentifikasi di jalur distribusi yang menyalurkan daya ke pelanggan dari trafo yang overload, khususnya pada jalur dengan banyak sambungan lateral atau pelanggan besar industri. Trafo sisip yang diusulkan dengan kapasitas 100–160 kVA. Pembagian beban pada sisip trafo dilakukan merata dengan sistem fasa yang seimbang. Sistem dilakukan secara paralel dan tidak mengganggu kontinuitas layanan pelanggan.

Analisis Data

Berdasarkan data penelitian trafo yang terhubung dekat dengan sumber utama (Gardu Induk) dan memiliki posisi relatif paling dekat dari titik suplai utama pada jalur penyulang. Hal ini berkontribusi pada jatuh tegangan (voltage drop) yang lebih rendah, karena panjang konduktor lebih pendek dan arus lebih kecil pada awal jaringan distribusi. Untuk menentukan trafo dengan jatuh tegangan paling rendah, digunakan parameter berikut:

- Posisi fisik pada single line diagram (semakin dekat ke gardu induk).
- Jumlah titik distribusi sebelum trafo (semakin sedikit, maka tegangan lebih stabil).
- Tidak adanya trafo lain sebelumnya yang membebani jalur distribusi.

Berdasarkan analisis dari data penelitian, trafo dengan jatuh tegangan paling rendah adalah:

Tabel 3. Trafo dengan Jatuh Tegangan.

No	Kode Trafo	Kapasitas (kVA)	Posisi di Jaringan	Jarak dari GI	Jatuh Tegangan
1	DT211	250	Awal penyulang utama	Sangat dekat	Tegangan stabil
2	DT045	250	Cabang utama	Dekat GI	Beban besar, tegangan cukup stabil

3	DT122	250	Penyulang primer	Cukup dekat	Aman dari voltage drop
4	DT104	100	Langsung dekat GI	Sangat pendek	Tegangan sangat stabil

Urutan trafo berdasarkan posisi jatuh tegangan dapat divisualisasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Urutan Trafo Berdasarkan Posisi Jatuh Tegangan.

Trafo DT211, DT045, dan DT104 memiliki posisi paling dekat ke Gardu Induk (GI), ditandai dengan batang berwarna hijau yang artinya jatuh tegangannya paling minimal. Trafo seperti DT423 dan DT446 memiliki estimasi jarak yang cukup jauh dari GI, sehingga berpotensi mengalami jatuh tegangan signifikan. Dilakukan penambahan trafo sisip untuk menanggulangi jatuh tegangan pada trafo, diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Penambahan Trafo Sisip.

Nama Gardu	Kondisi	Kapasitas Trafo (kVA)	Arus Aktual (A)	Arus Nominal (A)	Keterangan
DT211	Sebelum Transformator Sisip	250	243,00	250,00	Trafo mendekati overload
DT211 + Sisip	Setelah Transformator Sisip	250	121,50	250,00	Beban terbagi, trafo dalam kondisi aman
DT045	Sebelum Transformator Sisip	250	238,00	250,00	Trafo mendekati overload
DT045 + Sisip	Setelah Transformator Sisip	250	119,00	250,00	Beban terbagi, trafo dalam kondisi aman
DT122	Sebelum Transformator Sisip	250	225,00	250,00	Trafo di bawah kapasitas, namun tinggi

DT122 + Sisip	Setelah Transformator Sisip	250	112,50	250,00	Aman, setelah redistribusi beban
------------------	--------------------------------	-----	--------	--------	---

Pada kondisi sebelum penambahan trafo sisip, trafo seperti DT211, DT045, dan DT122 menunjukkan arus beban yang sangat mendekati arus nominal, masing-masing sebesar 243 A, 238 A, dan 225 A. Dengan arus nominal untuk trafo 250 kVA pada tegangan 20 kV sekitar 250 A, maka nilai arus tersebut menunjukkan bahwa trafo telah beroperasi pada kisaran 90–97% dari kapasitasnya, kondisi ini dikategorikan rawan overload.

Setelah dilakukan penambahan trafo sisip dan beban dibagi secara paralel, arus beban pada masing-masing trafo turun signifikan, yaitu sekitar 121–112 A. Angka ini hanya setengah dari arus awal, sehingga persentase beban trafo juga menurun menjadi di bawah 50%. Dengan demikian, trafo kembali bekerja dalam zona aman, dan risiko kerusakan akibat kelebihan arus dapat diminimalkan.

Penurunan arus yang signifikan ini menunjukkan bahwa trafo sisip tidak hanya efektif dalam mengurangi beban pada trafo utama, tetapi juga meningkatkan efisiensi distribusi daya dan memperpanjang umur operasi peralatan. Selain itu, dengan arus yang lebih rendah, kerugian daya (losses) pada kabel distribusi juga dapat ditekan, sehingga sistem secara keseluruhan menjadi lebih andal.

Untuk mendukung analisis perhitungan sisip trafo akibat kelebihan beban, dihitung dengan bantuan program simulasi yang telah dibuat pada M-file matlab yang di tunjukan seperti dibawah ini:

```
% sisip_trafo_terpadu_compat.m
% Simulasi + Tabel + Grafik beban trafo sebelum/sesudah trafo sisip
% Kompatibel dengan MATLAB 2016 (tanpa string literal)
clc; clear;

%% -----
% Parameter Sistem
% -----
% Beban aktif aktual (kW)
P_DT211 = 243;
P_DT045 = 238;
P_DT122 = 225;
```

% Faktor daya

pf = 0.90;

% Tegangan sistem (kV -> V)

VLL_kV = 20;

VLL = VLL_kV*1e3; % Volt

% Kapasitas trafo eksisting (kVA)

S_DT211 = 250;

S_DT045 = 250;

S_DT122 = 250;

% Kapasitas trafo sisip (kVA, per trafo)

S_sisip = 160;

% Utilitas

to_kVA = @(Pkw) Pkw / pf;

I_from_P = @(Pkw) Pkw*1e3/(sqrt(3)*VLL*pf);

%% -----

% SEBELUM SISIP

% -----

P_total = P_DT211 + P_DT045 + P_DT122;

S_DT211_load0 = to_kVA(P_DT211);

S_DT045_load0 = to_kVA(P_DT045);

S_DT122_load0 = to_kVA(P_DT122);

I_DT211_awal = I_from_P(P_DT211);

I_DT045_awal = I_from_P(P_DT045);

I_DT122_awal = I_from_P(P_DT122);

LoadPct_DT211_awal = 100*S_DT211_load0/S_DT211;

LoadPct_DT045_awal = 100*S_DT045_load0/S_DT045;

$\text{LoadPct_DT122_awal} = 100 * S_DT122_load0 / S_DT122;$

%% -----

% SESUDAH SISIP (proporsional per-TRAFO)

% -----

% DT211

$P_DT211_baru = (S_DT211 / (S_DT211 + S_sisip)) * P_DT211;$

$P_sisip1 = (S_sisip / (S_DT211 + S_sisip)) * P_DT211;$

% DT045

$P_DT045_baru = (S_DT045 / (S_DT045 + S_sisip)) * P_DT045;$

$P_sisip2 = (S_sisip / (S_DT045 + S_sisip)) * P_DT045;$

% DT122

$P_DT122_baru = (S_DT122 / (S_DT122 + S_sisip)) * P_DT122;$

$P_sisip3 = (S_sisip / (S_DT122 + S_sisip)) * P_DT122;$

% Total trafo sisip

$P_sisip_total = P_sisip1 + P_sisip2 + P_sisip3;$

% Arus sesudah sisip

$I_DT211_baru = I_from_P(P_DT211_baru);$

$I_DT045_baru = I_from_P(P_DT045_baru);$

$I_DT122_baru = I_from_P(P_DT122_baru);$

$I_sisip = I_from_P(P_sisip_total);$

% Loading (%)

$\text{LoadPct_DT211} = 100 * to_kVA(P_DT211_baru) / S_DT211;$

$\text{LoadPct_DT045} = 100 * to_kVA(P_DT045_baru) / S_DT045;$

$\text{LoadPct_DT122} = 100 * to_kVA(P_DT122_baru) / S_DT122;$

% Untuk sisip gabungan

$S_sisip_total_kVA = 3 * S_sisip;$

$\text{LoadPct_sisip_total} = 100 * to_kVA(P_sisip_total) / S_sisip_total_kVA;$

```
%% -----
% TABEL HASIL (Command Window)
% -----

disp('=== SIMULASI PEMBAGIAN BEBAN TRAFO (Per-Trafo Sisip) ===');
fprintf('V_LL = %.0f kV, pf = %.2f\n', VLL_kV, pf);
fprintf('Total Beban Aktif Sistem: %.2f kW\n\n', P_total);

% Nama pakai cell array agar kompatibel MATLAB lama
Nama = {'DT211'; 'DT045'; 'DT122'; 'Trafo Sisip (gabungan)'};
kW_Awal = [P_DT211; P_DT045; P_DT122; 0];
kW_Sesudah = [P_DT211_baru; P_DT045_baru; P_DT122_baru; P_sisip_total];
Arus_Awal = [I_DT211_awal; I_DT045_awal; I_DT122_awal; 0];
Arus_Ses = [I_DT211_baru; I_DT045_baru; I_DT122_baru; I_sisip];
LoadPct_Awl = [LoadPct_DT211_awal; LoadPct_DT045_awal; LoadPct_DT122_awal;
NaN];
LoadPct_Ses = [LoadPct_DT211; LoadPct_DT045; LoadPct_DT122; LoadPct_sisip_total];

T = table(Nama, kW_Awal, kW_Sesudah, Arus_Awal, Arus_Ses, LoadPct_Awl,
LoadPct_Ses);
disp(T);

%% -----
% GRAFIK PERBANDINGAN (kW)
% -----

beban_sebelum = [P_DT211, P_DT045, P_DT122, 0];
beban_sesudah = [P_DT211_baru, P_DT045_baru, P_DT122_baru, P_sisip_total];
labels = {'DT211','DT045','DT122','Trafo Sisip'};

x = 1:numel(labels);
width = 0.35;

figure('Name','Perbandingan Beban kW');
bar(x - width/2, beban_sebelum, width, 'r'); hold on;
```

```

bar(x + width/2, beban_sesudah, width, 'g'); hold off;
set(gca,'XTick',x,'XTickLabel',labels);
ylabel('Beban (kW)');
title('Perbandingan Beban Sebelum vs Sesudah Trafo Sisip (Per-Trafo)');
legend('Sebelum','Sesudah','Location','northwest');
grid on;

% Label angka
for i = 1:numel(x)
    text(x(i)-width/2, beban_sebelum(i)+5, sprintf('%.1f', beban_sebelum(i)),
    'HorizontalAlignment','center');
    text(x(i)+width/2, beban_sesudah(i)+5, sprintf('%.1f', beban_sesudah(i)),
    'HorizontalAlignment','center');
end

```

Perbandingan beban trafo distribusi yang mengalami kelebihan beban yaitu DT211, DT045, dan DT12, sebelum dan sesudah dilakukan penambahan trafo sisip diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Beban Trafo Sebelum dan Sesudah Penambahan Trafo Sisip.

Berdasarkan Gambar 5, kondisi awal menunjukkan bahwa trafo DT211, DT045, dan DT122 masing-masing menanggung beban sebesar 243 kW, 238 kW, dan 225 kW. Ketiganya mendekati atau bahkan melebihi batas kapasitas nominal (250 kVA), sehingga berpotensi mengalami overloading dalam jangka panjang.

Setelah penambahan satu unit trafo sisip dengan kapasitas 160 kVA dan dilakukan pembagian beban secara proporsional, terjadi penurunan signifikan pada masing-masing trafo, DT211 turun menjadi 152,3 kW, DT045 menjadi 149,1 kW, DT122 menjadi 140,9 kW.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terhadap trafo distribusi pada ULP Medan Kota, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

- a. Sebagian besar trafo distribusi di ULP Medan Kota mengalami beban melebihi 80% dari kapasitas nominalnya, dengan trafo seperti DT211 dan DT045 mencapai beban masing-masing sebesar 97% dan 95%. Kondisi ini menandakan bahwa sistem berada pada ambang batas overload dan berisiko mengalami kerusakan.
- b. Penambahan trafo sisip terbukti efektif dalam mengurangi beban berlebih pada trafo utama. Hasil simulasi dan perhitungan menunjukkan bahwa setelah pembagian beban menggunakan trafo sisip, arus dan daya pada masing-masing trafo berkurang hingga $\pm 50\%$, dan persentase beban turun di bawah 70%.
- c. Jatuh tegangan total dapat diminimalkan dengan menempatkan trafo sisip pada posisi optimal di antara dua trafo yang berdekatan. Dalam studi kasus antara trafo DT211 dan DT045, posisi optimal trafo sisip adalah 10 meter dari trafo DT211, menghasilkan jatuh tegangan total sekitar 0,0745 Volt.
- d. Redistribusi beban melalui trafo sisip tidak hanya mengurangi potensi kerusakan trafo dan kabel, tetapi juga meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem distribusi. Beban menjadi lebih seimbang, arus kabel menurun, serta sistem lebih siap mengakomodasi pertumbuhan beban di masa mendatang.

Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang telah diperoleh dalam penelitian ini, disarankan:

- 1) PLN disarankan untuk melakukan pemantauan rutin terhadap beban trafo, terutama pada gardu-gardu dengan persentase beban di atas 80%.
- 2) Penambahan trafo sisip dapat dijadikan solusi utama pada lokasi-lokasi dengan pertumbuhan beban tinggi, guna mencegah overload dan memperpanjang umur peralatan.
- 3) Diperlukan analisis lebih lanjut untuk menentukan kapasitas dan titik optimal trafo sisip berdasarkan pertimbangan teknis serta topologi jaringan distribusi.
- 4) Penggunaan sistem monitoring berbasis SCADA atau smart metering sangat dianjurkan untuk mendeteksi beban secara real-time dan melakukan redistribusi beban secara lebih akurat dan efisien

DAFTAR REFERENSI

- Ahmad, A., Saroni, M. R. A., Razak, I. A. W. A., & Ahmad, S. (2014). *A case study on ground resistance based on copper electrode vs. galvanized iron electrode*. In 2014 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon) (pp. 406–410). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PECON.2014.7062479>
- Anisah, S., Rahmانيar, R., & Khaizairani, A. (2018). *Analisis perbaikan tegangan ujung pada jaringan tegangan menengah 20 KV Express Trienggadeng...* SEMNASTEK UISU 2018. <https://doi.org/10.31289/jesce.v2i1.1916>
- Anisah, S., Tharo, Z., & Suhardi, S. (2019). *Analisis perbaikan tegangan ujung pada jaringan tegangan menengah 20 kV dengan simulasi ETAP (Studi Kasus PT. PLN Rayon Kuala)*. Prosiding SEMNASTEK, 2(1), 208–213. <https://doi.org/10.31289/jesce.v2i1.1916>
- Bashir, M., Sadeh, J., Kamyab, E., & Yaghoobi, H. (2012). *Effect of increasing the grounding grid resistance ...* In 2012 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering (pp. 1022–1027). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2012.6221528>
- Ghoneim, S. S. M., & Taha, I. B. M. (2016). Control the cost, touch and step voltages of the grounding grids design. *IET Science, Measurement & Technology*, 10(8), 943–951. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2016.0153>
- Gonos, I. F., et al. (1999). *Transient impedance of grounding rods*. ISH'99. <https://doi.org/10.1049/cp:19990646>
- Haddin, M., Tumiran, & Haryono, T. (2002). *Evaluasi sistem pentanahan grid rod gardu induk tegangan ekstra tinggi 500 kV*. Proceedings SNWT V 2002/D-3.
- Harianja, R., Tarigan, A. S. P., & Anisah, S. (2025). *Pengaruh pemeliharaan predictive maintenance terhadap kinerja sistem distribusi...* Jurnal Indragiri Penelitian Multidisiplin, 5(2), 54–62. <https://doi.org/10.58707/jipm.v5i2.1187>
- Haris Gunawan. (2024). *A fast decouple method as power flow optimization in cooking oil processing factory based Matlab*. Jurnal Scientia, 13(04), 1317–1329.
- Hutauruk, T. (1999). *Pengetanahan netral sistem tenaga & pengetanahan peralatan*. Erlangga.
- IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. (2015). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2015.7109078>
- Laurent, P. G. (1951). Les bases générales de la technique des mises à la terre dans les installations électriques. *Bulletin de la Société Française des Électriciens*, 1(7), 368–402.
- Niemann, J. (1952). Unstellung von hochstspannungs-erdungsalagen auf den betrieb mit starr geerdetem sternpunkt. *Electrotechnische Zeitschrift*, 73(10), 333–337.
- Parlin Siagian, & Haris Gunawan. (2025). *Analisis konsumsi energi listrik pompa sirkulasi cooling tower P21C menggunakan inverter di PT Unilever Oleochemical Indonesia*. Jurnal Serambi Engineering, X(2), 12812–12822.
- PLN. (2022). *Laporan Gangguan Listrik*. PLN.
- Poulimenos, G., Damianaki, K. D., Christodoulou, C. A., Androvitsaneas, V. P., & Gonos, I. F. (2018). *Examination of the effectiveness of the grounding systems of distribution substations*. 2018 IEEE ICHVE, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICHVE.2018.8642163>

- Pratama, R. B., Wibowo, P., & Anisah, S. (2025). *Analisis pengaruh penggantian konduktor pada SUTM 20kV...* *Jurnal Penelitian Inovatif*, 5(2), 803–812. <https://doi.org/10.54082/jupin.1361>
- Putra, D. E., Pardede, G. P., Kurniawan, F., Saputra, M. W., Sinaga, R., Rahmanda, A., Rudini, B., Putra, R. E., & Salis, M. W. (2023). *Comparison of grounding resistance using grounding rod electrodes with different fault current types...* *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.29103/jreece.v3i1.10270>
- Simanullang, D., Anisah, S., & Hamdani. (2022). *Analysis of the effect of excitation current on the synchronolgy generator...* *INJECTS*, 3(1), 237–247. <https://doi.org/10.53695/injects.v3i1.767>
- Thabet, A., & Mobarak, Y. (2021). *Innovative earthing systems for electric power substations using conductive nanoparticles.* *IJECE*, 11(3). <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i3.pp1857-1864>
- Tharo, N., Syahputra, M., & H. H. (2020). *Analisis sistem proteksi jaringan tegangan menengah menggunakan aplikasi ETAP di Bandar Udara Internasional Kualanamu.* *OJS UMA*, 4(1).
- Tharo, Z., Tarigan, A. D., Anisah, S., & Banjarnahor, D. (2023). *Performance of neutral grounding resistance and solid grounding on 60 MVA power transformer.* *IJRVOCAS*, 2(4), 86–93. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v2i4.172>
- Zuraidah Tharo, Kusuma, B. S., Anisah, S., Dhalimunte, M. E., & Cholish. (2021). *Analisis perbandingan kinerja kWh meter Prabayar dan Pascabayar.* *Prosiding KONSEP 2021*, 2(1).