

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

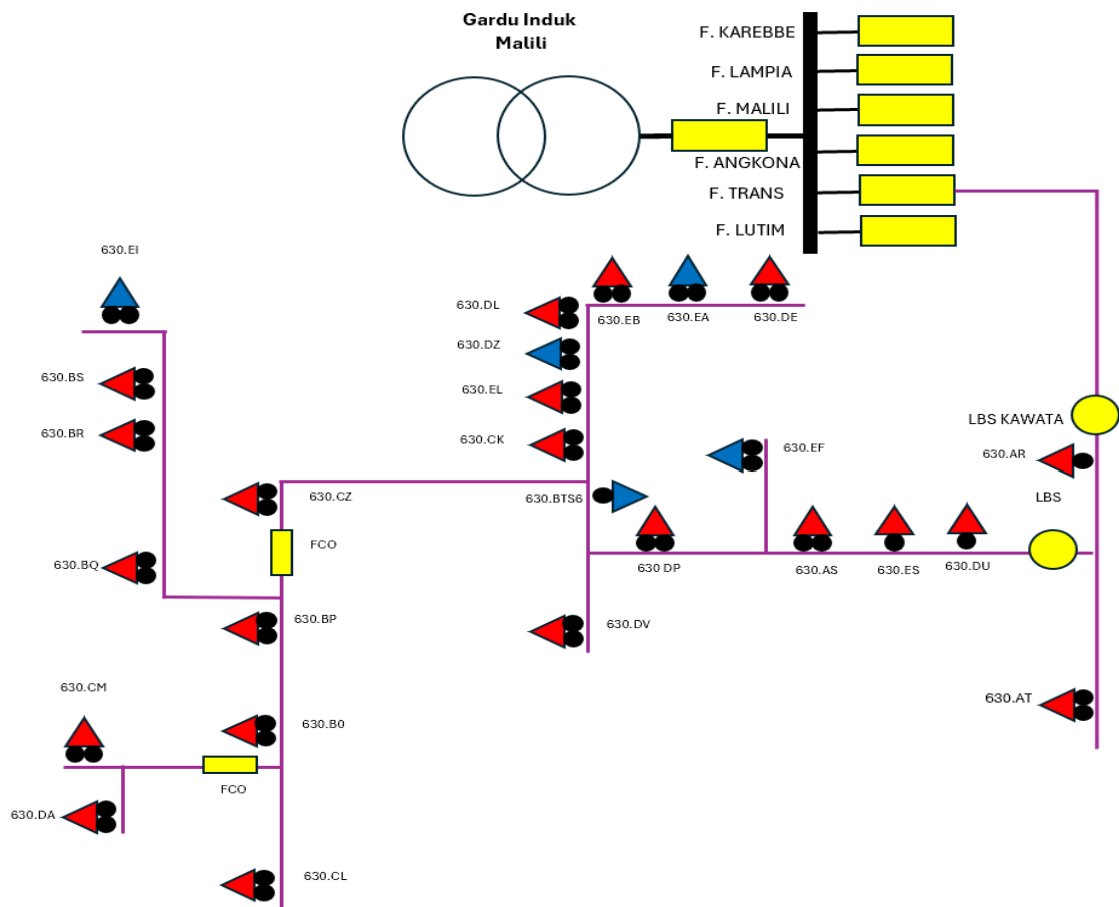
1.1 Penyajian Data Hasil Lapangan

4.1.1 Data Hasil Lapangan

Dalam penelitian ini, mengambil data pada transformator GD 630 BO yang terletak di penyulang Trans di PT PLN (Persero) ULP Malili UP3 Palopo. Pengambilan data beban transformator GD 630 BO ini diperoleh dari pengukuran langsung ke lapangan dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 4.1. Kapasitas transformator pada gardu GD 630 BO adalah 160 kVA sedangkan menurut pengukuran sudah terpakai 155 kVA. Berdasarkan **SPLN No. 50 tahun 1977**, transformator distribusi diusahakan agar tidak dibebani lebih dari 80 % dari kapasitas (*rating*). Sehingga dalam kondisi ini transformator dikatakan telah mengalami *overload*.



Gambar 4. 1 Gardu GD 630 BO



Gambar 4. 2 Single Line Gardu Penyulang Trans ULP Malili

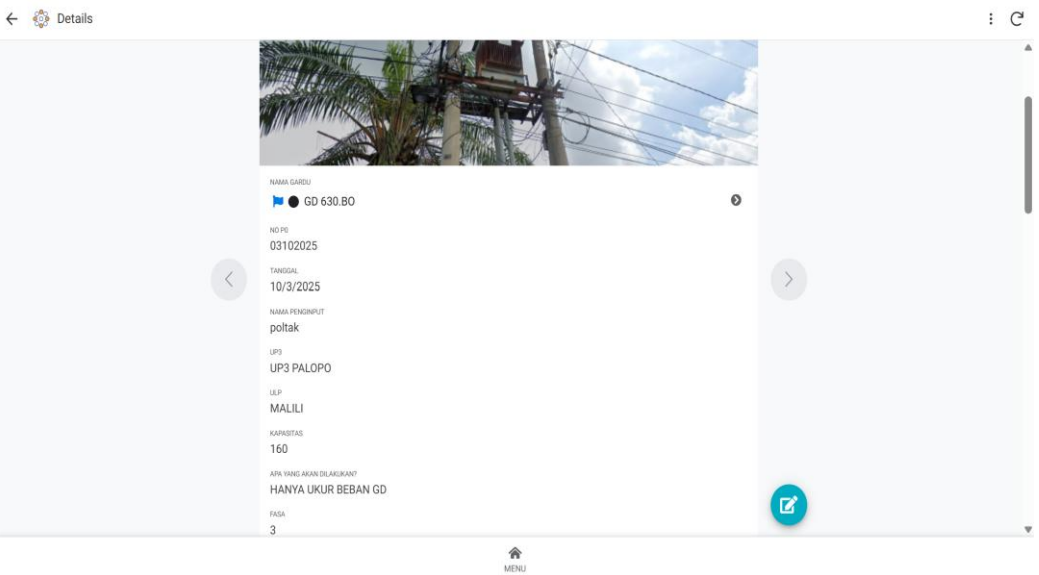
4.1.2 Data Pengukuran Transformator GD 630 BO Sebelum Penambahan Trafo Sisipan

Berdasarkan data yang diambil dari hasil pengukuran beban transformator PT PLN (Persero) ULP Malili dapat dilihat pada Tabel 4.1 yaitu beban sebelum di lakukan penambahan tranformator sisipan.

Tabel 4. 1 Data Pengukuran Transformator GD 630 BO sebelum penambahan transformator sisipan

Data Trafo		Jurusan	Hasil Pengukuran Beban (A)			
Kapasitas	Prim/Sek	Penampang	R	S	T	N

160 kVA	20 kV/400V	A (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	86	133	90	51
		B (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	126	104	145	50
		SUMBER (NYY 4 X 150 MM)	198	241	232	100



Gambar 4. 3 Laporan Inspeksi Gardu GD 630 BO Via Appsheet

Sesuai dengan Tabel 4.1 maka dilihat beban pada total transformator GD 630 BO telah melewati arus nominalnya. Untuk lebih jelasnya mengenai kondisi pembebanan transformator gardu distribusi GD 630 BO dengan menggunakan persamaan (2.4), dapat dihitung sebagai berikut: % Pembebanan = $(I_{Rata-rata} / I_{FL}) \times 100\%$.

Untuk menghitung arus rata-rata beban transformator tersebut dapat menggunakan persamaan (2.5) dengan menggunakan data pada Tabel 4.1 yaitu:

$$I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T) / 3$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{198 \text{ A} + 241 \text{ A} + 232 \text{ A}}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{671}{3} = 224 \text{ A}$$

Untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dapat menggunakan persamaan (2.3) yaitu:

$$I_{FL} = \frac{\text{KAPASITAS TRAFO}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{160\,000 \text{ VA}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{160\,000 \text{ VA}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = 230,94 \text{ A}$$

Kemudian dimasukkan kedua nilai hasil perhitungan $I_{Rata-rata}$ dan I_{FL} kedalam persamaan rumus persen pembebanan sebelumnya. Sehingga dapat diketahui persentase beban transformator GD 630 BO.

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{224 \text{ A}}{230,94 \text{ A}} \times 100\%$$

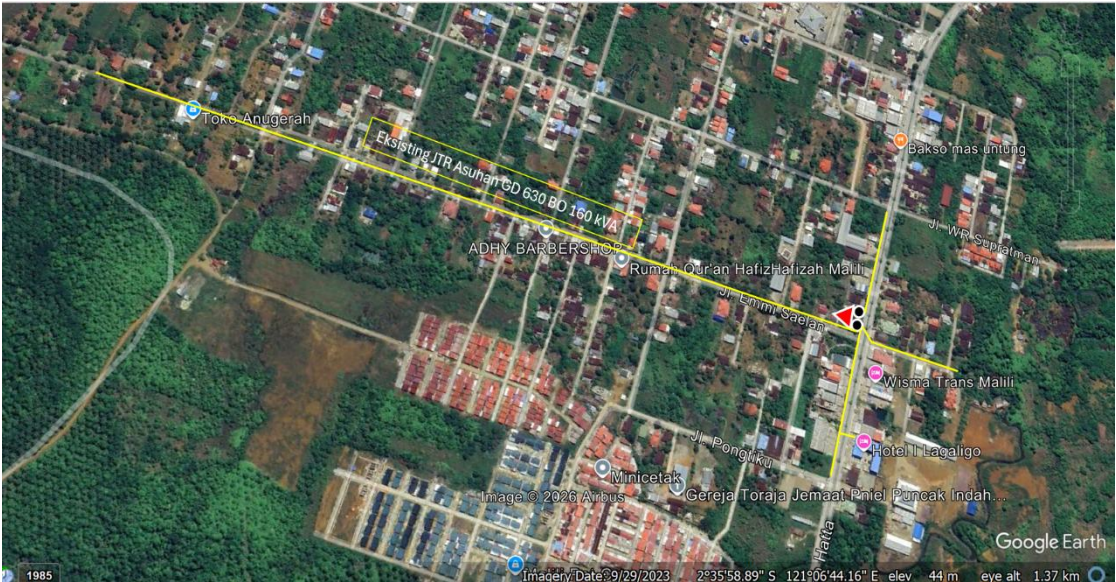
$$\% \text{ Pembebanan} = 96,99 \%$$

Setelah dilakukan perhitungan persentase pembebanan pada transformator GD 630 BO dan hasilnya menunjukkan bahwa transformator GD 630 BO mengalami *overload* karena total persentase beban transformator yakni 96,99 %. Sebuah Transformator dikatakan *overload* apabila melebihi beban 80% dari kapasitas transformatornya maka untuk itu pihak PLN melakukan perbaikan pada transformator distribusi ini dengan menambahkan transformator sisipan.

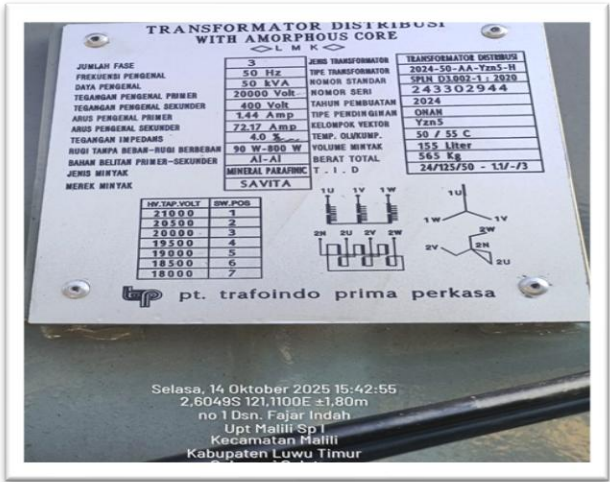
Dibawah ini adalah Gambar Jalur Jaringan tegangan Rendah (JTR) Transformator GD 630 BO:

4.1.3 Transformator Sisipan

Transformator sisipan yang ditambahkan untuk mengurangi beban lebih pada penyulang Trans khususnya pada GD 630 BO yaitu transformator GD 630 FD dengan kapasitas beban 50 kVA, transformator ini terbagi menjadi 2 mengarah ke transformator GD 630 BO JL Emmi Saelan Ds Puncak Indah Malili. Berikut gambar yang merupakan trafo sisipan GD 630 FD.



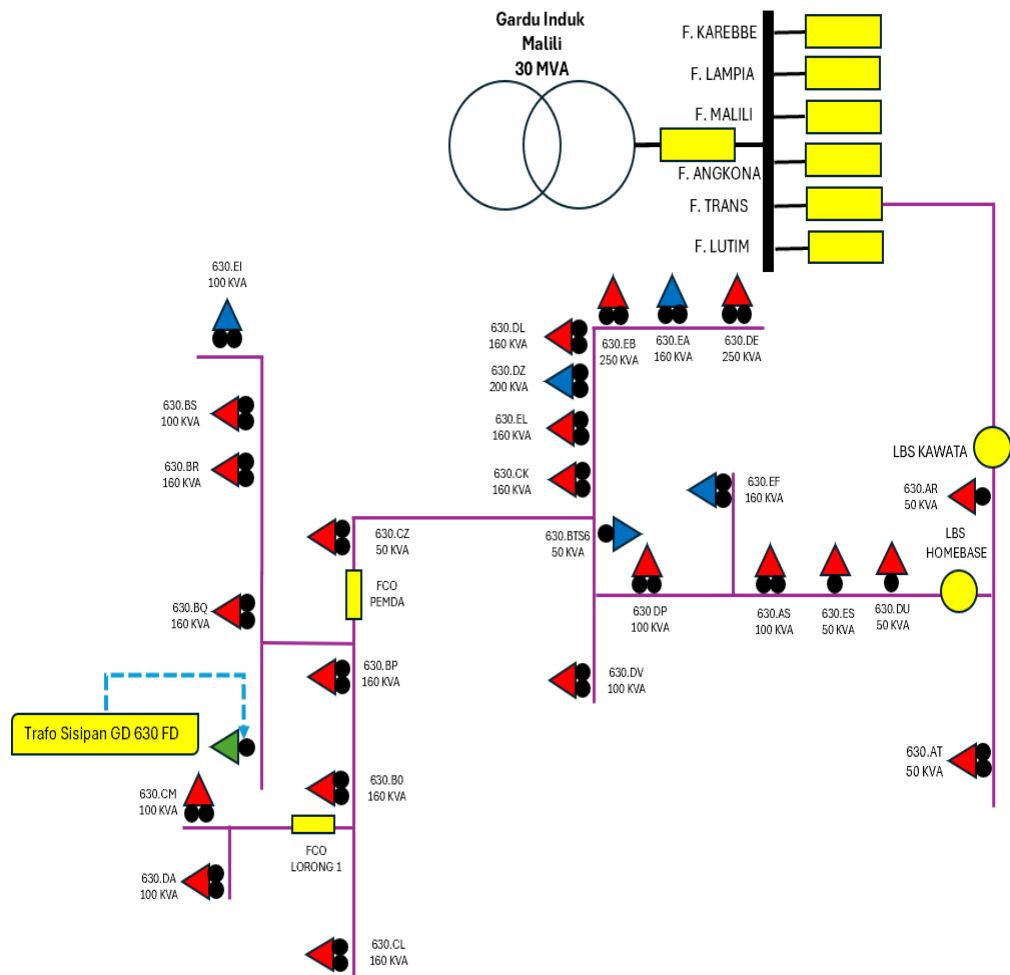
Gambar 4. 4 Jalur JTR Trans formator GD 630 BO



Gambar 4. 5 Nameplate Transformator Sisipan GD 630 FD



Gambar 4. 6 Transformator Sisipan GD 630 FD



Gambar 4. 7 Singleline Gardu setelah penambahan transformator sisipan GD 630 FD

4.1.4 Data Pengukuran Transformator Sisipan GD 630 FD

Tabel 4. 2 Data Pengukuran Transformator Sisipan GD 630 FD

Data Trafo		Jurusan	Hasil Pengukuran Beban (A)			
Kapasitas	Prim/Sek	Penampang	R	S	T	N
50 kVA	20 kV/400V	A (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	55	37	43	25
		B (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	1	4	1	3
		SUMBER (NYY 4 X 150 MM)	56	41	44	26

Berdasarkan hasil pengukuran diatas, Sebagian beban dari jurusan B dari transformator GD 630 BO dialihkan ke transformator sisipan pembebanan berkurang. Untuk mengetahui pembebanan pada transformator GD 630 FD maka perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.4) dengan menggunakan data pengukuran pada Tabel 4.2 yaitu:

Untuk menghitung arus rata-rata beban transformator tersebut dapat menggunakan persamaan (2.5) dengan menggunakan data pada Tabel 4.1 yaitu:

$$I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T) / 3$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{56 \text{ A} + 41 \text{ A} + 44 \text{ A}}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{141}{3} = 47 \text{ A}$$

Untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dapat menggunakan persamaan (2.3) yaitu:

$$I_{FL} = \frac{\text{KAPASITAS TRAFO}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{50\,000 \text{ VA}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{50\,000\text{ VA}}{400\text{ V}\sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = 72,16\text{ A}$$

Kemudian dimasukkan kedua nilai hasil perhitungan $I_{Rata-rata}$ dan I_{FL} kedalam persamaan rumus persen pembebanan sebelumnya. Sehingga dapat diketahui persentase beban transformator GD 630 FD.

$$\% \text{Pembelangan} = \frac{47\text{ A}}{72,16\text{ A}} \times 100\%$$

$$\% \text{Pembelangan} = 65,27\%$$

4.1.5 Data Pengukuran Transformator GD 630 BO Setelah Penambahan Transformator Sisipan

Berikut ini Tabel 4.3 yang merupakan data pengukuran beban transformator Gardu GD 630 BO setelah penambahan transformator sisipan.



Gambar 4. 8 Jalur JTR Setelah Penambahan Transformator Sisipan

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Beban Transformator GD 630 BO Setelah Penambahan Transformator Sisipan

Data Trafo		Jurusan	Hasil Pengukuran Beban (A)			
Kapasitas	Prim/Sek	Penampang	R	S	T	N
160 kVA	20 kV/400V	A (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	37	124	64	54
		B (LVTC 3 x 70 + 50 MM)	66	47	57	14
		SUMBER (NYY 4 X 150 MM)	120	185	118	73

Setelah dilakukan penambahan transformator sisipan dan dialihkan sebagian jalur JTR nya dapat dilihat pada Tabel 4.3 bahwa telah berkurang beban pada jurusan B, secara otomatis juga mengurangi persentase pembebanan transformator. Adapun persentase pembebanan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4) yakni dengan menggunakan data pada Tabel 4.3 dapat dihitung sebagai berikut: % Pembebanan = $(I_{Rata-rata} / I_{FL}) \times 100\%$

Untuk menghitung arus rata-rata beban transformator tersebut dapat menggunakan persamaan (2.5) dengan menggunakan data pada Tabel 4.1 yaitu:

$$I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T) / 3$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{120 \text{ A} + 185 \text{ A} + 118 \text{ A}}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{423}{3} = 141 \text{ A}$$

Untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dapat menggunakan persamaan (2.3) yaitu:

$$I_{FL} = \frac{\text{KAPASITAS TRAF0}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{160 \text{ 000 VA}}{400 \text{ V} \sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = \frac{160\,000\text{ VA}}{400\text{ V}\sqrt{3}}$$

$$I_{FL} = 230,94\text{ A}$$

Kemudian dimasukkan kedua nilai hasil perhitungan $I_{Rata-rata}$ dan I_{FL} kedalam persamaan rumus persen pembebanan sebelumnya. Sehingga dapat diketahui persentase beban transformator GD 630 BO.

$$\% \text{Pembelangan} = \frac{141\text{ A}}{230,94\text{ A}} \times 100\%$$

$$\% \text{Pembelangan} = 61,05\%$$

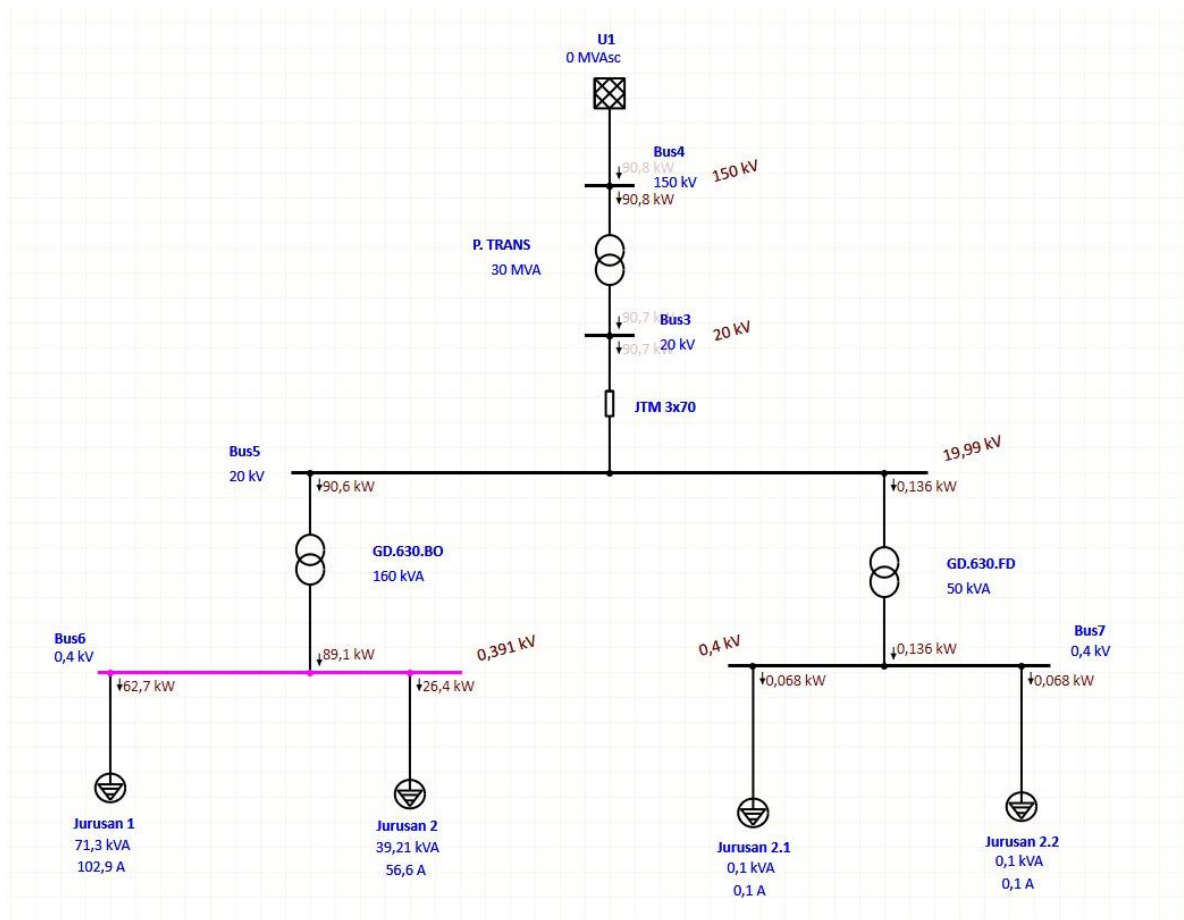
Setelah dilakukan perhitungan persentase pembebanan pada transformator setelah ditambahkan transformator sisipan maka hasilnya menunjukkan bahwa transformator GD 630 BO sudah kembali normal atau tidak mengalami *overload* karena total persentase pembebanan transformator tidak lagi melebihi beban standar yang telah ditentukan sebelumnya, yakni 61,05 %.

4.1.6 Simulasi Pembebanan Transformator Menggunakan Aplikasi ETAP 19.0.1

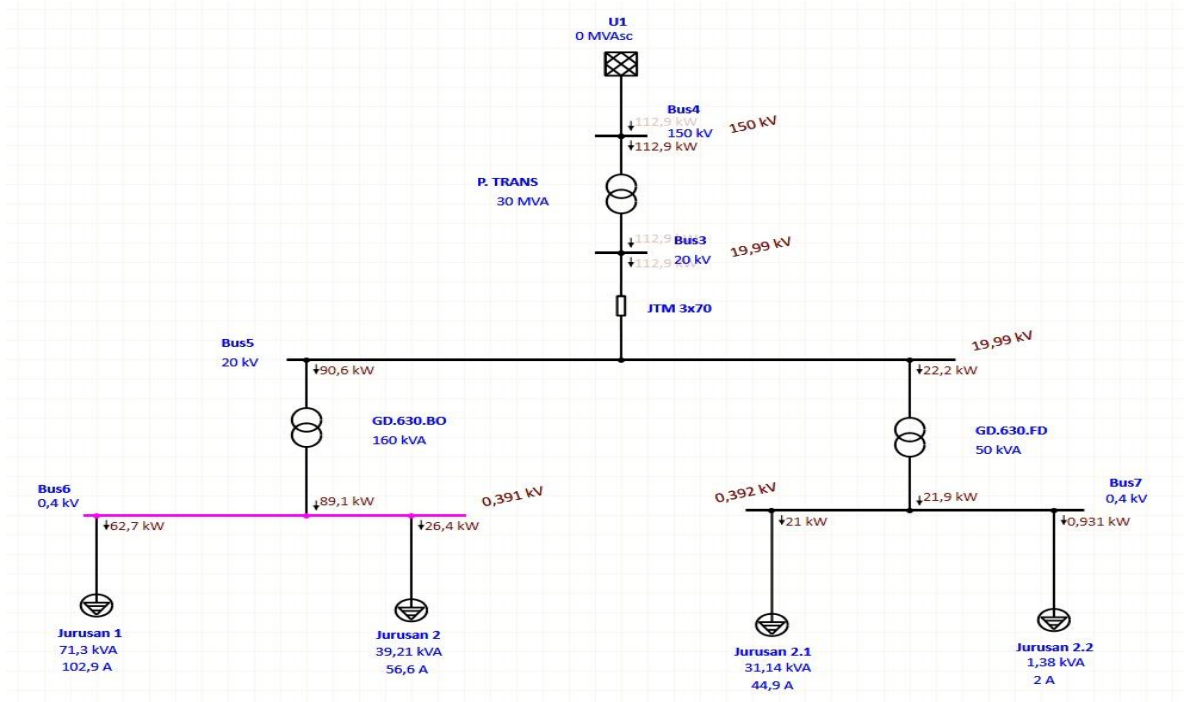
Aplikasi ETAP 19.0.1 digunakan untuk simulasikan perhitungan pembebanan transformator pada gardu GD 630 BO dan GD 630 FD. Data yang dibutuhkan dalam simulasi ETAP antara lain: Data bus JTR, beban pemakaian, kapasitas transformator serta daya terpasang pada pelanggan. Adapun cuplikan gambar hasil simulasi pembebanan sebelum pemasangan transformator sisipan pada Gardu GD 630 BO dengan Aplikasi ETAP dapat dilihat seperti gambar berikut ini:

Berdasarkan kedua gambar sebelumnya, dapat dilihat bahwa nilai persen pembebanan pada transformator GD 630 BO sebelum dilakukan penyisipan transformator masih mengalami beban lebih (*overload*). Hal ini sesuai dengan perhitungan manual dimana nilai persen pembebanan transformator GD 630 BO mengalami beban lebih.

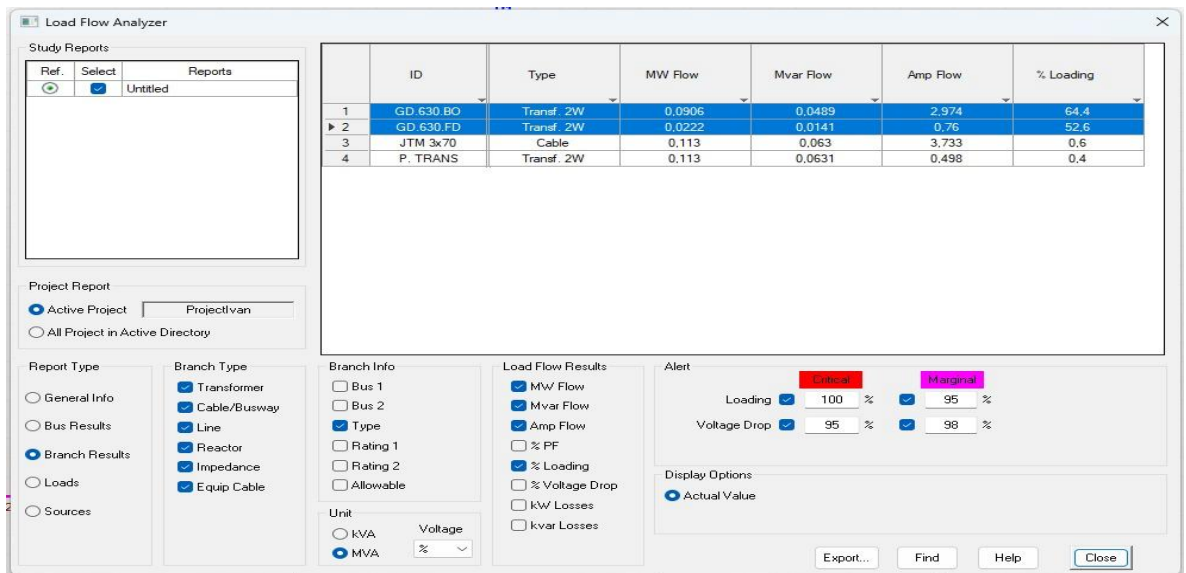
Selanjutnya, untuk menampilkan gambar simulasi dan hasil pembebanan Transformator GD 630 BO setelah dilakukan penyisipan trafo. Adapun cuplikan gambar hasil simulasi pembebanan setelah pemasangan transformator sisipan pada transformator GD 630 BO dengan ETAP adalah seperti terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4. 11 Simulasi Transformator GD 630 BO setelah pemasangan transformator sisipan tetapi belum dialihkan beban



Gambar 4. 12 Simulasi Transformator GD 630 BO setelah pemasangan transformator sisipan GD 630 FD dan dialihkan beban Sebagian pada line B



Gambar 4. 13 Hasil pengukuran transformator GD 630 BO dan GD 630 FD menggunakan aplikasi ETAP

4.2 Analisis Data Lapangan

Merujuk pada standar operasional yang berlaku, batas aman pembebanan transformator dibatasi maksimal hingga 80% dari kapasitas nominalnya. Karena persentase beban pada Gardu GD 630 BO melampaui ambang batas tersebut hingga mencapai 96,99%, maka transformator ini dikategorikan mengalami kondisi beban lebih (*overload*). Guna mempertahankan keandalan suplai listrik dan kualitas layanan bagi pelanggan, PLN wajib melakukan intervensi teknis untuk menormalisasi kondisi tersebut.

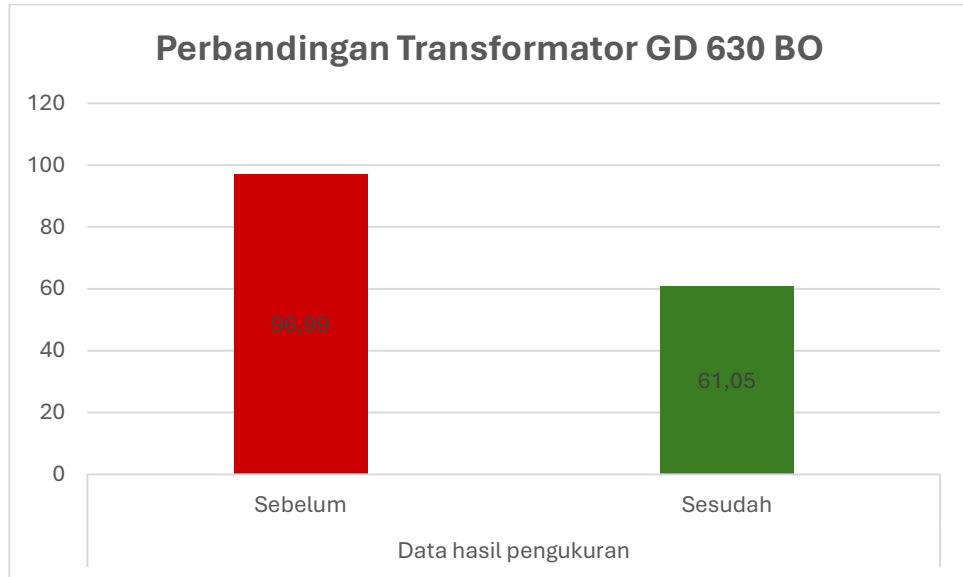
Dalam ruang lingkup penelitian ini, fokus analisis ditujukan pada upaya mitigasi beban lebih di Gardu GD 630 BO melalui instalasi transformator sisipan. Langkah ini diambil tidak hanya untuk menstabilkan pembebanan, tetapi juga untuk memperbaiki profil tegangan (mengurangi *drop tegangan*) pada jaringan tersebut. Prinsip utama dalam penerapan transformator sisipan adalah redistribusi beban, yaitu memindahkan sebagian beban dari jurusan tertentu pada transformator induk ke transformator baru agar persentase pembebanan kembali ke nilai normal.

Selain kondisi eksisting, faktor proyeksi pertumbuhan beban tahunan juga menjadi pertimbangan mengingat lokasi gardu berada di kawasan pemukiman padat. Berdasarkan evaluasi teknis dan pertimbangan pertumbuhan beban tersebut, solusi yang diterapkan adalah pemasangan transformator sisipan kode GD 630 FD dengan kapasitas 50 kVA.

4.2.1 Perbandingan Persentase Pembebanan Transformator GD 630 BO Penyulang Trans Sebelum dan Sesudah Penambahan Transformator Sisipan Perhitungan Manual

Dari hasil perhitungan pada transformator GD 630 BO penyulang Trans sebelum dilakukan penyisipan trafo sisipan, hasil presentase pembebanan yang didapatkan yakni 96,99 %. Namun setelah adanya penambahan transformator sisipan, hasil

pembebanan pada transformator tersebut mengalami perubahan. Berikut diagram perbandingan sebelum dan setelah penambahan transformator sisipan:



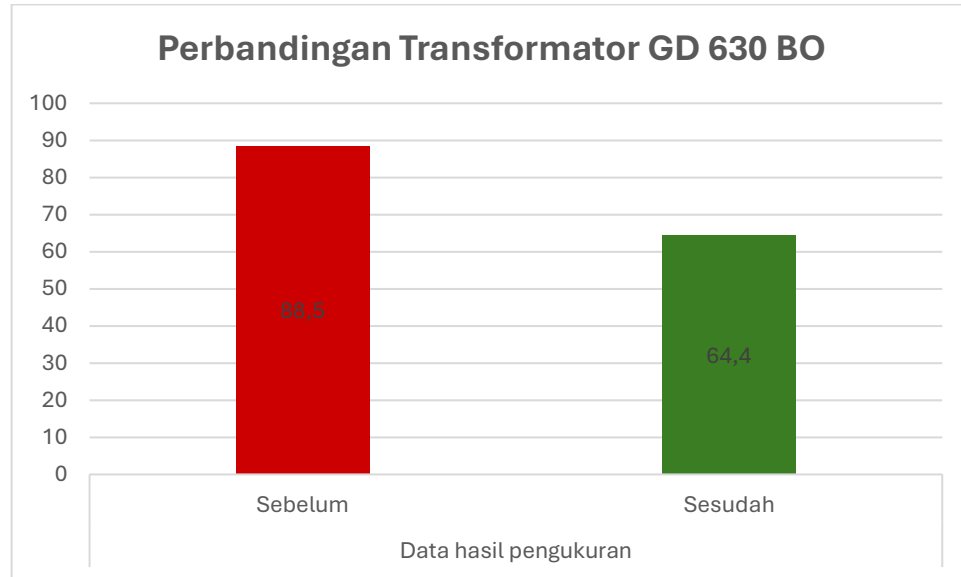
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Pengukuran Transformator GD 630 BO Perhitungan Manual

Dari gambar 4.14 dapat dilihat bahwa nilai persen pembebanan pada transformator GD 630 BO mengalami perubahan setelah penambahan transformator sisipan dari nilai 96,99 % menjadi 61,05% sehingga dapat dikatakan terjadi penurunan nilai pembebanan sebesar 35,94 % dan sudah dikatakan tidak *overload* pembebanan transformator GD 630 BO.

4.2.2 Perbandingan Persentase Pembebanan Transformator GD 630 BO Penyulang Trans Sebelum dan Sesudah Penambahan Transformator Sisipan Perhitungan Simulasi Aplikasi ETAP 19.0.1

Dari hasil perhitungan pembebanan pada transformator GD 630 BO penyulang Pendidikan sebelum dilakukan penyisipan trafo sisipan dengan menggunakan aplikasi ETAP, hasil persentase pembebanan yang didapatkan yakni 88,5 %. Namun setelah adanya penambahan transformator sisipan, hasil pembebanan pada transformator tersebut mengalami perubahan. Berikut diagram perbandingan

sebelum dan setelah penambahan transformator sisipan dengan menggunakan aplikasi ETAP:



Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Pengukuran Transformator GD 630 BO
Perhitungan Simulasi Aplikasi ETAP 19.0.1

Dari gambar 4.15 dapat dilihat bahwa nilai persen pembebanan pada transformator GD 630 BO mengalami perubahan setelah penambahan transformator sisipan dari nilai 88,5 % menjadi 64,4 % sehingga dapat dikatakan terjadi penurunan nilai pembebanan sebesar 24,1 % dan sudah dikatakan tidak *overload* pembebanan transformator GD 630 BO.

4.2.3 Perbandingan Hasil Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator Secara Manual dan Simulasi Melalui Aplikasi ETAP

Setelah dilakukan perhitungan nilai persentase pembebanan pada transformator GD 630 BO baik sebelum maupun setelah pemasangan transformator sisipan secara manual maupun menggunakan aplikasi ETAP, dapat dilihat perbandingan nilai persen pembebanan pada Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4. 4 Hasil Perbandingan Pengukuran Beban Transformator GD 630 BO Sebelum dan Setelah Penambahan Transformator Sisipan Dengan Perhitungan Manual dan Menggunakan Aplikasi ETAP

Perbandingan	Sebelum Sisipan (%)		Sesudah Sisipan (%)	
	Manual	ETAP	Manual	ETAP
% Pembebanan	96,99	88,5	61,05	64,4

Dari kedua hasil sebelumnya, dapat dilihat bahwa perhitungan nilai pembebanan antara manual dengan menggunakan aplikasi ETAP memiliki perbedaan nilai persen pembebanan tidak begitu jauh. Untuk perbedaan perbandingan nilai persen pembebanan sebelum sisipan, manual maupun etap mencapai 8,49 % dari (96,99% - 88,5%). Sedangkan untuk perbedaan perbandingan nilai persen pembebanan setelah sisipan, manual maupun ETAP mencapai 3,2% dari (64,4% - 61,05%).

4.2.4 Perhitungan Letak Penempatan Transformator Sisipan

Untuk letak yang ideal dalam penempatan transformator sisipan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.7), yakni sebagai berikut:

$$L = \frac{10\% \times V_{ivc}}{i \text{ Beban Puncak} \times R \text{ Saluran}}$$

Dimana:

$$V_{ivc} = 400 \text{ V (Diambil dari } 380 \text{ V} + 5 \%)$$

Tabel 4. 5 Buku 1: Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik (Edisi 1, 2010) oleh PT PLN (Persero)

Ukuran Kabel		Fasa		Netral
(mm^2)	R (Ω/km)	KHA (A)	X (Ω/km)	Resistansi (Ω/km)

2 x 10	3,08	54	0,168	3,08
2 x 16	1,91	72	0,138	1,91
2 x 25	1,2	130	0,124	1,38
2 x 35	0,868	125	0,116	1,38
2 x 50	0,641	154	0,106	0,986
3 x 70	0,443	196	0,103	0,69
3 x 95	0,32	242	0,098	0,45

Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan arus beban puncak dan panjang saluran. Untuk menentukan arus beban puncak, digunakan pengukuran arus dari jurusan B dengan menggunakan persamaan (2.5) dengan menggunakan Tabel 4.2, yakni:

$$I_{Rata-rata} = (I_R + I_S + I_T) / 3$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{198 \text{ A} + 241 \text{ A} + 232 \text{ A}}{3}$$

$$I_{Rata-rata} = \frac{671}{3} = 224 \text{ A}$$

$$L_{existing} = \text{Panjang penghantar existing (1000 Meter)}$$

$$R_{Saluran} = 0,443 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Setelah didapatkan *variable*, kemudian dimasukkan ke rumus dibawah ini.

$$L = \frac{10\% \times V_{ivc}}{i \text{ Beban Puncak} \times R_{Saluran}}$$

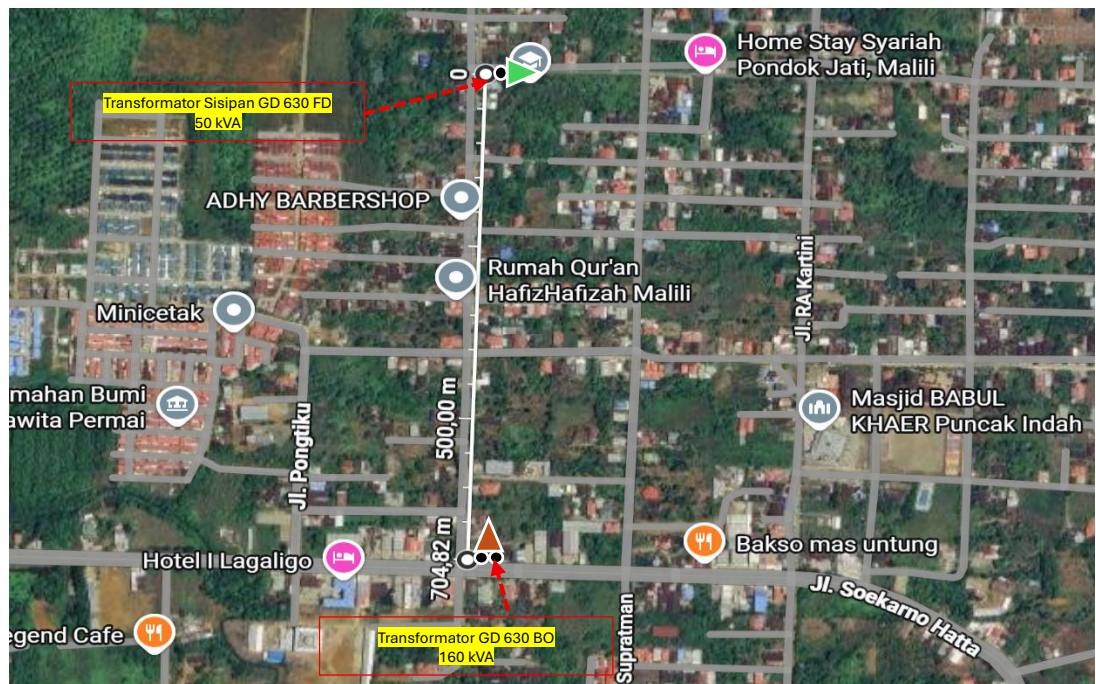
$$L = \frac{10\% \times 400 \text{ V}}{224 \text{ A} \times 0,443 \text{ } \Omega/\text{km}}$$

$$L = 403 \text{ m}$$

Jadi, berdasarkan hasil perhitungan seperti di atas, maka jarak jaringan yang paling ideal untuk menempatkan transformator sisipan tersebut adalah 403-meter dari transformator GD 630 BO. Namun, dalam hal ini tidak dapat berpatokan pada hasil

perhitungan saja, tetapi juga harus melihat dari sisi lapangan baik dari pelanggan *existing* yang *drop* tegangan maupun lokasi tanah yang di izinkan untuk di pasang transformator sisipan.

Sesuai kondisi di lapangan jarak yang di dapat antara transformator GD 630 BO dan transformator sisipan GD 630 FD yaitu 704,82 meter. Hal ini disebabkan karena pada lokasi jalur JTR dari transformator *existing* GD 630 BO jadi mempertimbangkan jarak untuk perluasan JTM sehingga transformator sisipan GD 630 FD dipasang pada jarak 704,82-meter dari transformator *existing* dan kondisi non teknis terkait izin lahan oleh Masyarakat sekitar.



Gambar 4. 16 Jarak JTR dari GD 630 BO ke Transformator Sisipan GD 630 FD

4.2.5 Perhitungan Kapasitas Transformator Existing GD 630 BO Berdasarkan Kapasitas Daya Terpasang

Tabel 4. 6 Tabel Data Kapasitas Daya Terpasang Pelanggan PLN Pada GD 630 BO

Daya (VA)	Jumlah	Daya Terpasang (kVA)
450	7	3,15

900	37	33,3
1300	39	50,7
2200	12	26,4
3500	2	7
4400	4	17,6
5500	3	16,5
6600	3	19,8
7700	1	7,7
10600	1	10,6
11000	2	22
16500	1	16,5
23000	1	23
Total	108	182,15

Jadi, berdasarkan data daya terpasang pelanggan PLN pada GD 630 BO sudah mencapai sebesar 182,15 kVA. Nilai ini melebihi dari kapasitas terpasang transformator existing yaitu 160 kVA. Jika dibiarkan secara terus menerus hal ini akan mengakibatkan terjadinya *overload* yang berdampak cukup serius dalam kontinuitas distribusi energi listrik ke Pelanggan sehingga perlu adanya tindak lanjut dengan cara pemasangan transformator sisipan atau *uprating* transformator agar % pembebanan tidak melebihi 80 %.

4.2.6 Perhitungan Kapasitas Transformator Sisipan GD 630 FD Berdasarkan Kapasitas Daya Terpasang

Sebagai data perencanaan pemasangan transformator sisipan perlu kita ketahui juga untuk kapasitas daya terpasang di lokasi tersebut agar dapat menentukan berapa kapasitas transformator yang akan dipasang. Berikut data daya terpasang pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Tabel Data Kapasitas Daya Terpasang Pelanggan PLN Pada GD 630 FD

Daya PLN (VA)	Jumlah Pelanggan	Daya Terpasang (kVA)
450	5	2,25
900	20	18

1300	18	23,4
2200	4	8,8
3500	1	3,5
4400	2	8,8
5500	1	5,5
7700	1	7,7
Total	53	77,95

Jadi, berdasarkan data daya terpasang di lokasi rencana pemasangan transformator sisipan idealnya harus dipasang transformator sisipan dengan kapasitas sebesar minimal 100 kVA agar tidak *overload* karena daya terpasang sudah mencapai 77,95 kVA tetapi kondisi aktualnya terpasang GD 630 FD dipasang dengan kapasitas 50 kVA dengan mempertimbangkan *cost* dan kondisi dilapangan. Dari hasil pengukuran beban pemakaian GD 630 FD setelah dilakukan pengalihan sebagian beban dari transformator *existing* GD 630 BO didapat hasil % pembebanan sebesar 65,27 % ini berarti dari data daya terpasang belum terpakai sepenuhnya saat dilakukan pengukuran.

4.2.7 Kendala Teknis Dalam Pemasangan Transformator Sisipan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pelaksanaan pekerjaan di lapangan, pemasangan transformator sisipan mengalami beberapa kendala teknis. Salah satu kendala yang sering ditemui adalah keterbatasan ruang pemasangan, khususnya pada gardu distribusi yang memiliki ukuran terbatas. Kondisi ini menyulitkan proses penempatan transformator dan peralatan pendukung sehingga diperlukan perencanaan tata letak yang baik sebelum pemasangan dilakukan.

Kendala teknis lainnya adalah kesalahan dalam penyambungan kabel pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator. Kesalahan penyambungan dapat menyebabkan gangguan operasi, penurunan kinerja sistem, serta berpotensi

menimbulkan kerusakan peralatan. Oleh karena itu, pemasangan harus dilakukan sesuai dengan prosedur kerja dan standar teknis yang berlaku.

Selain itu, kondisi isolasi kabel dan komponen pendukung juga menjadi perhatian. Isolasi dapat mengalami penurunan kualitas akibat pengaruh lingkungan seperti kelembapan, debu, dan kotoran, yang dapat menyebabkan terjadinya arus bocor. Sistem pentanahan yang kurang baik juga menjadi kendala, karena nilai resistansi tanah yang tinggi dapat membahayakan keselamatan dan menurunkan keandalan sistem.

Faktor lingkungan seperti suhu tinggi, debu, dan getaran turut memengaruhi kinerja transformator. Untuk memastikan transformator sisipan dapat beroperasi dengan aman dan normal, diperlukan pengujian dan komisioning sebelum dioperasikan, seperti pengujian isolasi dan pengujian pentanahan.

4.2.8 Kendala Non-Teknis Dalam Pemasangan Transformator Sisipan

Selain kendala teknis, pemasangan transformator sisipan juga menghadapi beberapa kendala non-teknis. Salah satu kendala yang sering terjadi adalah kurangnya koordinasi antar pihak yang terlibat, seperti kontraktor, penyedia material, dan pengawas lapangan. Hal ini dapat menyebabkan keterlambatan pekerjaan dan ketidaksesuaian dengan jadwal yang telah direncanakan.

Kendala non-teknis lainnya adalah perizinan, terutama jika pemasangan dilakukan di lokasi yang berada di lahan milik pemerintah atau masyarakat. Proses perizinan yang memerlukan waktu cukup lama dapat menghambat pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Keterbatasan anggaran juga menjadi kendala yang berpengaruh terhadap pemilihan material dan peralatan yang digunakan. Selain itu, faktor sosial seperti keberatan dari masyarakat sekitar akibat kurangnya sosialisasi juga dapat memengaruhi kelancaran pekerjaan.

Faktor cuaca dan kondisi akses menuju lokasi pemasangan turut menjadi kendala non-teknis. Cuaca buruk serta akses jalan yang sulit dapat menghambat pengiriman material dan memperlambat proses pemasangan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang baik, koordinasi yang jelas, dan penyesuaian terhadap kondisi lapangan agar pekerjaan pemasangan transformator sisipan dapat berjalan dengan lancar.

4.2.9 Solusi Untuk Mitigasi Kendala

Dalam menghadapi berbagai kendala yang muncul selama proses pemasangan transformator sisipan, diperlukan penerapan strategi yang tepat guna menjamin kelancaran dan keberhasilan pelaksanaan pekerjaan. Adapun beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan teknis maupun non-teknis adalah sebagai berikut:

1. **Perencanaan Tata Letak dan Optimalisasi Ruang**

Untuk mengatasi keterbatasan ruang pemasangan, perlu dilakukan survei lokasi secara komprehensif sebelum pekerjaan dimulai. Penyusunan tata letak yang terencana dengan baik, termasuk pemanfaatan perangkat lunak perancangan berbasis 3D, dapat membantu mengoptimalkan ruang yang tersedia serta memastikan kesesuaian dimensi peralatan yang akan dipasang.

2. **Peningkatan Kompetensi dan Pelatihan Tenaga Kerja**

Potensi kesalahan teknis, seperti kekeliruan dalam penyambungan, dapat diminimalkan melalui pemberian pelatihan dan pembekalan teknis kepada tenaga kerja. Dengan memastikan seluruh personel memahami prosedur pemasangan sesuai standar yang berlaku, tingkat keandalan dan keselamatan sistem dapat ditingkatkan.

3. **Pelaksanaan Pengujian dan Komisioning Secara Menyeluruh**

Sebelum transformator dioperasikan, pengujian terhadap sistem isolasi, pentanahan, dan sambungan listrik harus dilakukan secara menyeluruh. Seluruh tahapan pengujian

perlu mengacu pada standar internasional, seperti IEC atau IEEE, guna menjamin keselamatan kerja serta kinerja peralatan yang optimal.

4. Penyempurnaan Sistem Pentanahan

Permasalahan resistansi tanah yang tinggi dapat diatasi dengan melakukan penambahan elektroda pentanahan, penggunaan material dengan konduktivitas yang lebih baik, atau penerapan sistem pentanahan berbentuk grid yang lebih efektif.

5. Pengendalian dan Pengelolaan Kondisi Lingkungan

Dampak lingkungan operasional, seperti debu, kelembapan tinggi, dan suhu ekstrem, dapat diminimalkan dengan memilih transformator yang memiliki tingkat perlindungan (IP) yang sesuai serta dilengkapi dengan sistem pendinginan yang memadai. Langkah ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan dan umur pakai transformator.

6. Koordinasi dan Komunikasi Antar Pihak

Dalam mengatasi kendala non-teknis, seperti permasalahan perizinan dan koordinasi antar instansi, diperlukan komunikasi yang efektif dan berkesinambungan. Pembentukan tim manajemen proyek yang solid serta adanya saluran komunikasi yang jelas dapat mengurangi risiko miskomunikasi selama pelaksanaan proyek.

7. Pengelolaan Anggaran Secara Efektif dan Efisien

Keterbatasan anggaran dapat diantisipasi dengan menyusun perencanaan biaya yang realistis serta memastikan pengadaan peralatan dan material sesuai dengan kebutuhan proyek. Manajemen anggaran yang baik juga memungkinkan tersedianya dana cadangan untuk mengatasi kondisi tak terduga di lapangan.

8. Pendekatan dan Sosialisasi kepada Masyarakat Sekitar

Untuk mengurangi potensi penolakan dari masyarakat, diperlukan kegiatan sosialisasi yang transparan terkait manfaat proyek. Selain itu, pelibatan masyarakat lokal dalam beberapa kegiatan, seperti tenaga kerja pendukung atau pengawasan lingkungan, dapat meningkatkan penerimaan terhadap pelaksanaan proyek.

8. Penyusunan Jadwal Kerja yang Adaptif

Kendala yang berkaitan dengan cuaca dan akses lokasi dapat diatasi dengan menyusun jadwal kerja yang fleksibel serta memanfaatkan kondisi cuaca yang mendukung untuk meningkatkan produktivitas. Penyediaan sarana transportasi yang sesuai juga diperlukan guna mengatasi keterbatasan akses menuju lokasi pemasangan.

Dengan penerapan langkah-langkah tersebut secara terpadu, diharapkan proses pemasangan transformator sisipan dapat berlangsung secara lebih efektif, efisien, serta memenuhi standar teknis dan keselamatan yang telah ditetapkan.