

## **Studi Penambahan Gardu Sisipan Tipe Tiang untuk Mengatasi Beban Lebih di PT PLN (PERSERO) Area Cianjur Rayon Mande**

**Giri Angga Setia<sup>1\*</sup>), Hadi Umar Setiawan<sup>2)</sup>, Fauzia Haz<sup>3)</sup>, Een Taryana<sup>4)</sup>**

<sup>1,2,3,4)</sup>Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Jenderal Achmad Yani  
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

<sup>\*)</sup>Korespondensi: [giri.anggasetia@gmail.com](mailto:giri.anggasetia@gmail.com)

### **Abstrak**

Pada sistem distribusi terjadinya pemadaman yang diakibatkan oleh beban berlebih menyebabkan adanya kerugian baik di sisi konsumen maupun penyedia listrik. Berdasarkan hal tersebut perlu adanya analisis penambahan gardu distribusi menggunakan metodologi yang akurat agar ketika diterapkan dapat menjadi solusi terhadap kebutuhan energi listrik. Beberapa tahapan metode yaitu penentuan spesifikasi tiap komponen, perhitungan optimal kapasitas tiap komponen, pengukuran nilai tegangan yang terdapat pada panel dan bagian primer trafo di gardu cantol, serta simulasi menggunakan *software* ETAP. Gardu cantol dipilih karena telah dilakukannya studi lapangan sesuai kebutuhan beban. Hasil analisis perhitungan menunjukkan dengan penambahan gardu sisipan maka total daya menjadi 100 kVA. Pembebatan terukur di malam hari sebesar 77,7 kVA dan siang hari sebesar 67,5 kVA. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pembebatan berada di *range* standar yang diizinkan di bawah 80%. Besar tegangan meningkat menjadi 0.9828 per unit dari kondisi sebelumnya terdapat jatuh tegangan mencapai 11%. Sehingga kebutuhan beban terpenuhi sesuai permintaan.

*Kata kunci : Beban lebih, gardu sisipan, jatuh tegangan, perhitungan optimal*

### **Abstract**

In the distribution system, blackouts caused by excessive loads cause losses for both consumers and electricity providers. Based on this, it is necessary to analyze the addition of distribution substations using an accurate methodology so that when applied it can be a solution to the need for electrical energy. Several stages of the method are determining the specifications of each component, calculating the optimal capacity of each component, measuring the voltage value contained in the panel and the primary part of the transformer at the hook-up substation, and simulating using ETAP software. The cantol substation was chosen because field studies have been carried out according to load requirements. The results of the calculation analysis show that with the addition of insertion substations, the total power becomes 100 kVA. The measured load at night is 77.7 kVA and during the day is 67.5 kVA. This indicates that the loading is in the allowable standard range below 80%. The voltage increased to 0.9828 per unit from the previous condition where there was a voltage drop of 11%. So that the load needs are met on demand.

*Keywords : Overload, substation insertion, voltage drop, optimal calculation*

### **I. PENDAHULUAN**

<u>Info Makalah:</u>	
Dikirim :	12-05-2022;
Revisi 1 :	01-07-2023;
Diterima :	01-10-2023;
<u>Penulis Korespondensi:</u>	
Telp	: +62-85665-56649
e-mail	: <a href="mailto:giri.anggasetia@gmail.com">giri.anggasetia@gmail.com</a>

Pemadaman yang sering terjadi di daerah Samolo - Karangtengah Cianjur disebabkan oleh beban berlebih pada daerah tersebut. Pada transformator akan mengalir arus yang lebih besar dibanding kapasitasnya atau arus nominalnya. Hal tersebut mengakibatkan isolasi pada transformator dapat mengalami degradasi dikarenakan panas berlebih dan bahkan dapat menyebabkan kerusakan [1][2]. Permasalahan lain yang menjadi perhatian adalah turunnya besar tegangan akibat dari beban berlebih

tersebut. Kerugian yang ditimbulkan tidak hanya dari sisi konsumen tetapi juga di sisi penyedia listrik. Keandalan suplai energi menjadi berkurang dan bahkan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen pendistribusian energi listrik [3][4].

Terdapat beberapa solusi yang dapat dipilih untuk mengatasi hal tersebut diantaranya mereduksi jarak dari beban ke transformator distribusi melalui rekonfigurasi [5] atau pemindahan beban maupun dengan penambahan gardu distribusi sisipan, *uprating* transformator distribusi (meningkatkan kapasitas transformator), serta pemindahan transformator distribusi dengan kondisi transformator yang melayani beban kecil digantikan ke transformator yang melayani beban besar begitu juga sebaliknya [3][6].

Standar pembebanan transformator optimal di bawah 80% berdasarkan standar PLN [7][8]. Sedangkan untuk tegangan standar yang diizinkan, bahwa nilai jatuh tegangan tidak boleh lebih dari 5% minimum sampai dengan 10% terhadap tegangan nominal [9][10]. Ada beberapa jenis gardu distribusi yaitu gardu beton, gardu besi, gardu tiang, dan gardu mobil. Penentuan jenis gardu yang terpasang disesuaikan dengan kondisi di lapangan dan kebutuhan beban. Semakin banyak kuantitas titik beban maka semakin banyak juga kuantitas dan kapasitas dari gardu distribusi yang dibutuhkan[11][12]. Pada konsumen tegangan rendah pertumbuhan beban sangat pesat, sehingga keandalan gardu distribusi perlu perhatian lebih. Maka dari itu perlu menjaga keandalan dengan memperhatikan kebutuhan beban, agar suplai sesuai dengan permintaan beban di sisi konsumen [13][14][15].

Untuk melakukan analisis terhadap penambahan gardu sisipan akibat beban berlebih, beberapa tahapan metode tersebut yaitu perhitungan spesifikasi setiap komponen, perhitungan optimal kapasitas setiap komponen, pengukuran nilai tegangan pada panel dan bagian primer transformator di gardu cantol, dan mensimulasikan menggunakan perangkat lunak ETAP. Gardu tipe tiap/cantol dipilih karena telah dilakukannya studi lapangan sesuai kebutuhan beban. Hasil pengukuran akan digunakan untuk menganalisis perhitungan transformator sisipan yang terpasang disesuaikan dengan standar yang digunakan oleh PLN. Berdasarkan permasalahan tersebut dilakukan analisis penambahan Gardu distribusi tipe tiang/cantol dengan tujuan memberikan pelayanan pendistribusian energi listrik yang andal di wilayah operasional PT. PLN (Persero) Area Cianjur Rayon Mande.

## II. METODE

### A. Tahapan Penambahan Gardu Sisipan

Proses pemasangan gardu tiang tipe cantol berawal dari tahapan penentuan lokasi. Penetuan lokasi sendiri menggunakan metode lapangan. Metode lapangan digunakan karena metode ini dianggap lebih tepat dalam memilih titik lokasi. Apabila menggunakan metode perhitungan akan memakan waktu lebih lama. Jika digunakan metode perhitungan maka titik lokasi pemasangan gardu cantol perlu membuat perizinan atau pembebasan lahan sehingga waktunya pemasangan akan memakan waktu lebih lama

Setelah lokasi pemasangan gardu ditentukan maka proses selanjutnya adalah perhitungan terhadap spesifikasi setiap komponen gardu. Perhitungan sendiri yaitu mencari spesifikasi dari komponen seperti FCO, kabel naik dan kabel turun, Ohm saklar, dan NH-Fuse. Kabel naik dan kabel turun sendiri berfungsi untuk menghubungkan PHB-TR dengan transformator. Perhitungan ini bertujuan untuk mencari spesifikasi yang tepat untuk digunakan pada gardu cantol. Proses perhitungan menggunakan perhitungan manual. Perhitungan juga disesuaikan dengan perencanaan gardu cantol yang akan dibangun. Hasil perhitungan juga akan disesuaikan dengan komponen yang tersedia di pasaran. Dengan perhitungan ini diharapkan dapat menjaga umur gardu dan kualitas gardu.

Setelah proses perhitungan komponen jadi, perlu adanya proses simulasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi oprasi dari rancangan gardu distribusi serta meminimalisir kerugian yang akan terjadi sehingga bisa meminimalkan potensi kerugian. Proses simulasi sendiri menggunakan *software* ETAP seri 12.6.0. Dengan simulasi ini dapat dilihat apakah gardu yang telah melalui proses perhitungan dapat memenuhi beban dan komponennya telah sesuai. Jika hasil perhitungan berhasil maka akan langsung dilakukan proses pemasangan. Namun jika gagal maka hasil perhitungan akan dievaluasi.

Proses selanjutnya yaitu menganalisis data pengukuran dari gardu yang telah di pasang untuk diolah sebagai bahan penelitian. Data yang diambil sendiri meliputi data arus dan tegangan pada setiap jurusan, data beban gardu cantol, serta data daya yang tersalurkan. Tujuan pengambilan data tersebut untuk mengetahui apakah arus pada setiap fasanya seimbang. Karena apabila ada selisih nilai arus yang jauh

pada setiap fasa dapat mengakibatkan kerusakan pada gardu. Proses pengambilan data juga dilakukan pada waktu pagi hari dan malam hari. Tujuannya untuk mengetahui kondisi gardu saat kondisi normal dan saat kondisi malam hari yang dimana beban puncak terjadi. Tahapan terakhir yaitu dimana tahapan kesimpulan dilakukan. Tahapan ini dilakukan untuk memenuhi laporan tugas akhir. Kesimpulan ini didapat dari proses awal pemasangan hingga proses pengolahan data yang memiliki peranan terbesar dalam tahapan kesimpulan.

### B. Perhitungan Komponen Gardu Sisipan

Penentuan komponen dalam pemasangan gardu sisipan sangat menentukan keberhasilan pembangunan suatu gardu. Oleh sebab itu, penentuan komponen harus melalui perhitungan yang presisi dan tepat sesuai dengan kebutuhan di lapangan. Sehingga gardu yang terpasang akan dapat melayani konsumen serta sesuai dengan yang direncanakan.

Untuk menentukan rating arus pada FCO perlu adanya perhitungan agar mendapatkan spesifikasi yang tepat. Perhitungan tersebut dihasilkan berdasarkan niai daya semu yang dihasilkan dengan tegangan dan jumlah fasa. Oleh sebab itu, setiap gardu akan memiliki spesifikasi FCO yang berbeda sesuai dengan parameter tersebut. Berikut ini adalah rumus mencari rating arus pada FCO:

$$I_{rate} = \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \quad (1)$$

dengan:

- $I_{rate}$  = Arus Rating (A)  
 $S$  = Daya Semu (kVA)  
 $V$  = Tegangan (V)

Untuk kabel naik dan kabel turun menggunakan kabel berbahan dasar Cu (Tembaga) dengan nilai arus maksimal 5A dan diameter 70 mm. Berikut rumus menghitung arus rating:

$$I_{rate} = d \times I_{max} \quad (2)$$

dengan:

- $I_{rate}$  = Arus Rating (A)  
 $d$  = Diameter (mm)  
 $I_{max}$  = Arus maximum (A)

Setelah didapat hasil perhitungan di atas. Maka arus maximum tersebut harus disesuaikan dengan jumlah jurusan gardu tiang tipe cantol. Utuk rumusnya sendiri sebagai berikut:

$$I_a = \frac{I_{max}}{n} \quad (3)$$

dengan:

- $I_a$  = Arus Tiap Jurusan (A)  
 $I_{max}$  = Arus maximum (A)  
 $n$  = Jumlah jurusan

Untuk mencari rating arus pada NH-Fuse sendiri menggunakan parameter hasil perhitungan rating arus sakelar serta jumlah jurusan pada gardu tiang tipe cantol. Hasil perhitungan sendiri arus disesuaikan dengan spesifikasi NH-Fuse yang tersedia di pasaran. Berikut ini adalah rumus mencari rating arus NH-Fuse:

$$I_{rate} = \frac{I_{sakelar}}{n} \quad (4)$$

dengan:

- $I_{rate}$  = Arus Rating (A)  
 $I_{sakelar}$  = Arus maximum Sakelar (A)

n = Jumlah Jurusan

Perhitungan konversi daya ini dilakukan untuk mengkonversi dari daya semu ke daya aktif dan daya reaktif. Tujuan konversi ini untuk mengetahui rugi – rugi daya yang hilang dalam satuan Watt dan VAR sehingga dapat diketahui potensi kerugian dan keuntungan secara ekonomi melalui konversi daya tersebut.

$$P = S \times \cos \varphi \quad (5)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (6)$$

dengan:

S = Daya semu (VA)

P = Daya aktif (Watt)

Q = Daya reaktif (VAR)

$\cos \theta$  = Sudut fasa

Saluran daya umumnya melayani beban yang memiliki faktor daya tertinggal. Sehingga menyebabkan tegangan yang diterima oleh beban memiliki nilai yang berbeda beda. Hal itu disebabkan letak beban atau konsumen yang tersebar, sehingga menyebabkan jarak beban dengan gardu berbeda beda. Selain itu letak konsumen yang letaknya jauh dari titik pelayanan akan cenderung menerima tegangan relatif lebih rendah dibandingkan dengan konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan. Oleh sebab itu dibuatlah metoda-metoda yang digunakan untuk memperbaiki regulasi tegangan saluran distribusi salah satunya perluasan jaringan dengan pemasangan gardu sisip. Untuk mengetahui nilai jatuh tegangan pada saluran distribusi dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$V_{reg} = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \quad (7)$$

dengan:

V<sub>reg</sub> = Tegangan regulasi (V)

V<sub>s</sub> = Tegangan ujung pengiriman (V)

V<sub>r</sub> = Tegangan ujung penerima (V)

Metode optimalisasi pembebanan transformator distribusi 3 fasa yaitu dengan melaksanakan penyeimbangan beban dalam rangka menghitung besarnya saving kWh yang bisa diperoleh. Sebelum penyeimbangan beban pada transformator terlebih dahulu yang harus dilakukan adalah pengukuran dan perhitungan arus yang mengalir pada kawat pembumian dan pengantar netral. Berikut ini gambar yang menjelaskan bagian mana saja yang menjadi titik timbulnya losses energi.

Proses penyeimbangan beban transformator pada dasarnya memiliki tujuan untuk memperkecil nilai arus yang mengalir pada titik (1) dan (2). Selain itu, batas ideal pembebanan trafo juga telah diatur dalam SPLN NO 50 tahun 1997 yang berisi pembebanan trafo berada pada kisaran 50% -60% dan dapat dibebani hingga batas ideal pembebanan trafo dengan pertimbangan susut umur trafo, faktor keragaman, dan faktor keserempakan beban yaitu 80%. Untuk itu dilakukanlah perhitungan untuk optimalisasi menggunakan rumus berikut:

$$S_{terukur} = \frac{V_{ln} \times (IR + IS + IT)}{1000} \quad (8)$$

dengan:

V<sub>ln</sub> = Tegangan line ke netral (V)

IR = Arus pada fasa R (I)

IS = Arus pada fasa S (I)

IT = Arus pada fasa T (I)

Presentase beban transformator:

$$\%S = \frac{S_{terukur}}{S_{terpasang}} \times 100\% \quad (9)$$

Setelah melakukan pemasangan gardu cantol, maka perlu adanya pengukuran pada ujung beban guna mengetahui apakah gardu yang telah dibangun dapat mendistribusikan tegangan ke konsumen dengan baik dan mengetahui apakah nilai tegangan masih memenuhi standar jatuh tegangan dari PLN. Untuk mengetahui nilai tegangan tersebut dapat diukur langsung pada beban atau jika jarak beban jauh dapat diperkirakan nilai tegangannya melalui perhitungan. Perhitungan dilakukan antar fasa supaya dapat diketahui lebih detail nilai tegangan ujung beban antar fasanya. Berikut ini adalah cara menghitung perkiraan tegangan di ujung beban pada kondisi beban puncak atau malam hari jika telah diketahui nilai tegangannya:

$$TUB = EfN - (EfN \times 10\%) \quad (10)$$

dengan:

$EfN$  = Nilai tegangan gardu (V)

10% = Batas maximum nilai jatuh tegangan (V)

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui presentase dari nilai arus yang membuat tidak seimbang antar fasa. Ketidakseimbangan perlu diketahui agar dapat dilakukan pemerataan beban antar fasa, sehingga arus yang seimbang akan menjaga umur trafo. Perhitungan penentuan arus nominal utama dan cabang dilakukan untuk mengetahui nilai nominal arus yang masuk pada sisi primer dan sisi sekunder trafo. Untuk mengetahui perhitungannya akan dilakukan dibawah ini:

$$In = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{distribusi}} \quad (11)$$

dengan:

$S$  = Daya semu (VA)

$V_{distribusi}$  = Tegangan JTM (kV)

Berikut persamaan kemampuan hantar arus (KHA).

$$KHA = In \times 125\% \quad (12)$$

dengan:

$In$  = arus nominal

$$I\% = \frac{I_r}{I_{rata-rata}} \times 100\% \quad (13)$$

dengan:

$I\%$  = Presentase arus pada fasa

$I$  fasa = Arus pada fasa (A)

$I$  rata-rata = Arus rata-rata fasa (A)

Perhitungan ini dilakukan untuk mencari spesifikasi daya trafo yang akan dipasang pada gardu cantol. Sehingga mendapatkan spesifikasi yang tepat.

$$S_{trafo} = \frac{S_{bebani}}{\text{presentase maximum trafo}} \quad (14)$$

dengan:  $S_{bebani}$  = Daya Semu Beban (VA)

### **III. HASIL DAN DISKUSI**

#### *A. Perhitungan Komponen*

Proses pemasangan gardu cantol perlu adanya analisis perhitungan dalam menentukan komponen gardu yang terpasang. Tujuan adanya analisis tersebut dapat menentukan kualitas dan keandalan pendistribusian energi listrik yang dihasilkan oleh gardu cantol SML C. Penggunaan komponen yang tepat hasil dari analisis perhitungan perencanaan juga dapat menentukan umur gardu serta daya tahan gardu. Untuk mengetahui perhitungannya, akan dijelaskan di bawah ini.

- 1) Perhitungan menentukan besaran spesifikasi arus FCO menggunakan persamaan (1) berikut.

$$I_{rate} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{100 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} = \frac{100 \text{ kVA}}{34,6 \text{ kV}} = 2,89 \text{ A}$$

Daya S merupakan daya gardu yang dipasang sebesar 100 kVA sedangkan tegangan V merupakan tegangan distribusi primer (JTM) 20 kV. Berdasarkan perhitungan di atas menghasilkan 2,89 A, namun yang terpasang di gardu tersebut adalah spesifikasi 3A dikarenakan spesifikasi yang tersedia di pasaran adalah 3 A.

- 2) Perhitungan kabel naik dan kabel turun.

Untuk kabel naik dan kabel turun menggunakan kabel berbahan Cu (Tembaga) dengan arus maksimal 5A dan diameter 70 mm menggunakan persamaan (2) dan (3).

$$I_{rate} = d \times I_{max} = 70 \times 5 = 350 \text{ A}$$

Karena untuk 2 jurusan maka dibagi 2.

$$I_a = \frac{I_{max}}{n} = \frac{350}{2} = 175 \text{ A}$$

- 3) Perhitungan Saklar

Berdasarkan teori efisiensi telah ditetapkan dengan nilai 400. Perhitungan menggunakan persamaan (1) berikut.

$$I_{rate} = \frac{S}{\text{eff} \times \sqrt{3}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 400} = \frac{100}{692} = 144,5 \text{ A}$$

- 4) Perhitungan NH Fuse untuk 2 jurusan menggunakan persamaan (4) berikut.

$$I_{rate} = \frac{I_{Sakelar}}{n} = \frac{144,5}{2} = 72,2 \text{ A}$$

NH Fuse yang terpakai di lapangan adalah 8A. Karena spesifikasi itu yang ada di gudang dan mendekati nilainya.

- 5) Perhitungan daya trafo distribusi menggunakan persamaan (14) berikut.

$$S_{trafo} = \frac{S_{beban}}{\text{presentase maximum trafo}}$$
$$S_{trafo} = \frac{77,7}{0,8} = 97,125 \text{ kVA}$$

Nilai kapasitas trafo yang mendekati hasil perhitungan adalah 100 kVA.

Penjelasan di atas merupakan spesifikasi tiap komponen yang dibutuhkan dalam membangun gardu tiang tipe tiang/cantol. Berikutnya perhitungan konversi daya dilakukan untuk mengetahui daya aktif dan daya reaktif yang dihasilkan oleh trafo gardu cantol SML C. Dengan mengetahui daya aktif dan reaktif, maka akan mempermudah proses penganalisisan sistem pendistribusian energi listrik. Untuk mencari kedua daya tersebut, maka perlu diketahui daya semu yang dihasilkan dengan nilai 100 kVA dan  $\cos \varphi$  bernilai 0,85 berdasarkan data di lapangan. Dengan mengetahui kedua parameter tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut pada tabel 1.

$$P = S \times \text{Cos } \varphi = 100 \times 0,85 = 85 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{100^2 - 85^2} = 52,67 \text{ kVAR}$$

Tabel 1 Tabel Beban Gardu

Gardu	Cos phi	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)
SML	0,85	39,7	33,75	20,91
CNIL	0,85	199,3	169,4	104,99
SML C	0,85	77,7	66,05	40,92
SML A	0,85	198	168,3	104,3

Setelah melakukan pemasangan gardu cantol, maka perlu adanya pengukuran pada ujung beban guna mengetahui apakah gardu yang telah dibangun dapat mendistribusikan tegangan ke konsumen dengan baik. Untuk mengetahui nilai tegangan tersebut dapat diukur langsung pada beban atau jika jarak beban jauh dapat diperkirakan nilai tegangannya melalui perhitungan. Berikut ini merupakan perhitungan tegangan di ujung beban pada kondisi beban puncak atau malam hari jika telah diketahui nilai tegangannya menggunakan persamaan (10). Untuk mengetahui berapakah tegangan jatuh pada gardu cantol SML C, berikut merupakan perhitungannya menggunakan persamaan (7). Berikut hasil perhitungan tertera pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai tegangan ujung beban dan jatuh tegangan

Keterangan	Fasa R (V)	Fasa S (V)	Fasa T (V)
Tegangan	211,5	209,7	211,5
Jatuh Tegangan	11%	11%	11%

Berdasarkan tegangan standar yang diizinkan, bahwa nilai jatuh tegangan tidak boleh lebih dari 10% [9]. Oleh sebab itu perlu adanya perbaikan jaringan distribusi di daerah Karangtengah, Cianjur khususnya yang dialiri oleh gardu distribusi tipe cantol SML C.

Metode optimalisasi pembebanan transformator distribusi 3 fasa yaitu dengan melaksanakan penyeimbangan beban dalam rangka menghitung besarnya *saving kWh* yang bisa diperoleh. Sebelum penyeimbangan beban pada transformator terlebih dahulu yang harus dilakukan adalah pengukuran dan perhitungan arus yang mengalir pada kawat pembumian dan pengantar netral. Perhitungan untuk mengetahui besarnya *saving kWh* dari data hasil pengukuran sebelum penyeimbangan dan pengukuran data beban setelah penyeimbangan pada transformator distribusi. Berikut ini adalah perhitungan optimalisasi pembebanan trafo gardu cantol SML C menggunakan persamaan (8) dan (9) pada Tabel 3.

Tabel 3 Optimalisasi pembebanan transformator gardu cantol SML C

Keterangan	Sterukur (kVA)	Presentase beban (%)
Malam hari	77,45	77,45
Siang hari	66,98	66,98

Berdasarkan perhitungan, bahwa presentase beban trafo telah memenuhi standar PLN yang ditetapkan dalam SPLN NO 50 tahun 1997 yang berisi pembebanan trafo berada pada kisaran 50% -60% dan dapat dibebani hingga batas ideal pembebanan trafo dengan pertimbangan susut umur trafo, faktor keragaman, dan faktor keserempakan beban yaitu 80%.

Perhitungan penentuan arus nominal utama dan cabang dilakukan untuk mengetahui nilai nominal arus yang masuk pada sisi primer dan sisi sekunder trafo. Selain itu dengan perhitungan tersebut dapat diperkirakan arus yang berada pada percabangan atau jurusan trafo. Untuk mengetahui arus nominal tersebut akan dijelaskan melalui perhitungan di bawah ini menggunakan persamaan (11) dan (12) pada Tabel 4.

Tabel 4 Perhitungan arus nominal utama dan cabang

Keterangan	In (A)	KHA (A)
Sisi primer	2,88	3,6
Sisi sekunder	0,15	0,19
Sisi cabang	0,45	0,56

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui presentase dari nilai arus yang membuat tidak seimbang antar fasa. Ketidakseimbangan perlu diketahui agar dapat dilakukan pemerataan beban antar fasa, sehingga arus yang seimbang akan menjaga umur trafo menggunakan perhitungan (13) tertera pada Tabel 5.

Tabel 5 Presentase nilai arus antar fasa

Keterangan	Fasa R (%)	Fasa S (%)	Fasa T (%)
Presentase Arus	78,2%	87%	134%

Sehingga kita dapatkan nilai ketidakseimbangan beban sebesar:

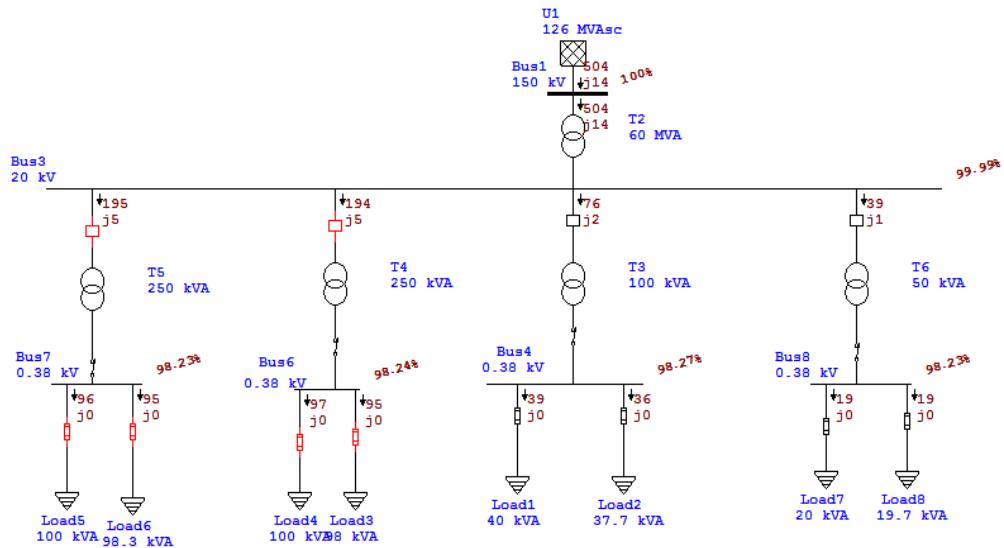
$$\text{Beban tak seimbang} = \frac{|0,78 - 1| + |0,87 - 1| + |1,34 - 1|}{3} \times 100\% = 23\%$$

Dari hasil perhitungan di atas bahwa trafo gardu cantol SML C memiliki presentase ketidakseimbangan 23%. Beban tersebut merupakan beban pemindahan dari gardu distribusi SML, CNT, SML A.

#### B. Simulasi ETAP

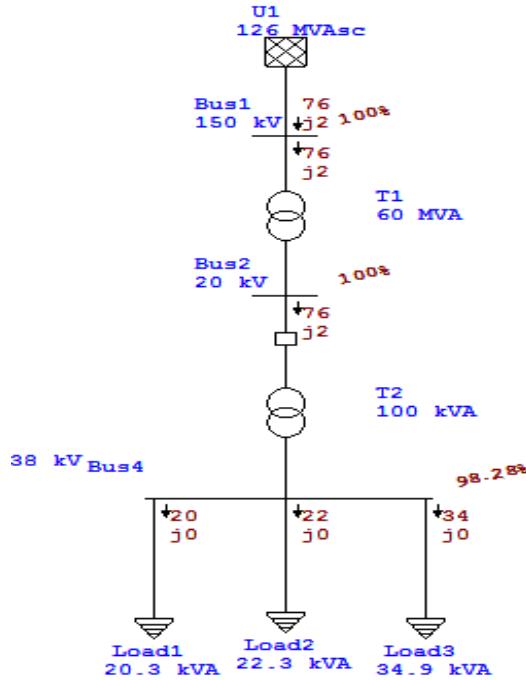
Untuk mengetahui tingkat keberhasilan perencanaan terhadap pemasangan gardu cantol, maka dilakukan simulasi perencanaan melalui *software* ETAP 12.6.0. Tujuannya adalah untuk mengetahui kondisi sesungguhnya gardu saat sudah difungsikan dan menghindari kerugian yang diakibatkan dari kesalahan perencanaan. Dengan adanya simulasi ini dapat diketahui nilai daya yang tersalurkan dan berapa daya yang hilang akibat adanya *power losses* atau rugi-rugi daya.

Simulasi dilakukan dengan berdasarkan data yang ada di lapangan serta data perencanaan agar hasil penelitian lebih akurat. Dalam simulasi dikondisikan ketika kebutuhan daya dalam kondisi beban puncak atau malam hari dimana kebutuhan dayanya  $66,05 \text{ kW} + j40,57 \text{ kVAR}$  yang terbagi dalam dua jurusan dimana pada jurusan 1 membutuhkan daya senilai  $34 \text{ kW} + j21,07 \text{ kVAR}$  dan jurusan 2 senilai  $32,05 \text{ kW} + j19,5$ . Keduanya disuplai oleh trafo berkapasitas  $85 \text{ kW} + j52,67 \text{ kVAR}$ . Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa daya yang tersalurkan terhadap beban adalah  $75 \text{ kW} + j0 \text{ kVAR}$  yang dimana pada jurusan 1 tersalurkan daya sebesar  $39 \text{ kW} + j0 \text{ kVAR}$  dengan nilai arus sebesar 59,7 A dan jurusan 2 sebesar  $36 \text{ kW} + j0 \text{ kVAR}$  dengan nilai arus 56,3 A. Nilai tegangan busbarnya adalah 98,27%.



Gambar 1 Hasil simulasi seluruh gardu distribusi dengan ETAP 12.6.0

Selanjutnya adalah pengujian gardu untuk melihat aliran daya antar fasanya. Simulasi sendiri disesuaikan dengan kondisi beban antar fasa berdasarkan data hasil pengukuran yang dilakukan pada malam hari. Tujuannya untuk mengetahui kondisi pendistribusian daya antar fasa saat beban puncak. Berdasarkan analisa yang dilakukan dari hasil simulasai ETAP 12.6.0 didapat bahwa daya yang terdistribusi di seluruh fasa adalah  $20 \text{ kW} + j0 \text{ kVAR}$  pada fasa R, dan di fasa S memiliki nilai daya yang terdistribusi sebesar  $22 \text{ kW} + j0 \text{ kVAR}$ , sedangkan pada fasa T memiliki nilai daya yang paling besar senilai  $24 \text{ kW} + j0 \text{ kVAR}$ . Dengan nilai tegangan busbar pada keseluruhan fasanya adalah 98,28%.



Gambar 2 Hasil simulasi antar pasa pada Gardu SML C dengan ETAP 12.6.0

#### IV. KESIMPULAN

Pemasangan gardu tiang tipe cantol SML C dapat memenuhi kebutuhan daya terhadap konsumen di daerah Samolo, Kecamatan Karangtengah, Cianjur, sehingga dapat mengurangi kerugian yang didapat oleh PT.PLN (PERSERO) Area Cianjur Rayon Mande yang diakibatkan adanya pemadaman listrik serta kepuasan pelanggan terpenuhi. Berdasarkan metode perhitungan untuk mendapatkan spesifikasi komponen yang sesuai dengan kebutuhan dengan kapasitas 100 kVA, *Fuse Cut Off* dengan tegangan operasi 24 kV dan arus nominal 3A, Lighting Arrester dengan tegangan operasi 19,5 V, tiang listrik dengan tinggi 13 meter dan kekuatan 350 dAN, kabel naik dan turun tipe NYFGBY dengan diameter 70 mm dan 150 mm, NH-Fuse dengan rating arus 80 A. Berdasarkan metode perhitungan tegangan di ujung beban dapat diprediksi pada fasa R, S, T dengan nilai 211,5 V, 209,7 V, 211,5 V dan memiliki nilai regulasi 11% yang belum memenuhi standar dikarenakan permasalahan saluran, sehingga perlu adanya perbaikan pada jaringan. Sedangkan pembebanan trafo telah optimal berdasarkan standar SPLN No 50 tahun 1997. Untuk kemampuan hantar arusnya memiliki nilai 3,6 A pada sisi primer, 0,19 A pada sisi sekunder dan 0,56 pada sisi cabangnya. Untuk ketidakseimbangan antar fasanya memiliki presentase senilai 23%. Simulasi menggunakan *software* ETAP dengan daya yang dihasilkan oleh trafo 100 kVA dan kebutuhan daya senilai 77,7 kVA yang telah disesuaikan dengan kondisi beban puncak di lapangan. Berdasarkan simulasi, gardu distribusi tipe cantol tersebut memiliki nilai tegangan busbar 98,27% pu dan untuk pendistribusian antar fasanya sendiri memiliki nilai tegangan busbar 98,28%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. A. Setia, S. N. Atsilah, and M. R. Hidayat, “Identifikasi Penurunan Kinerja Pada Minyak Transformator Di GI Lagadar Menggunakan Total Dissolved Combustible Gas, Rasio Doernenburg, Segitiga Duval, Dan Water Content,” *SUTET*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.33322/sutet.v12i2.1716.
- [2] F. Haz, M. R. Akbar, and G. A. Setia, “Diagnosis Kondisi Minyak Tranformator Menggunakan Teknik Dissolved Gas Analysis,” *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 21, no. 1, pp. 12–21, 2022.
- [3] P. Harahap, M. Adam, and A. Prabowo, “Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6.0,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi)* *J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 62–69, 2019, doi: 10.30596/rele.v1i2.3002.
- [4] G. A. Setia, G. H. M. Sianipar, and R. T. Paribo, “The performance comparison between fast decoupled and backward-forward sweep in solving distribution systems,” *3rd IEEE Conf. Power Eng. Renew. Energy, ICPERE 2016*, pp. 247–251, 2016, doi: 10.1109/ICPERE.2016.7904871.
- [5] A. A. N. Narottama, I. G. Agung, M. Sunaya, and I. M. Purbhawa, “Analisis Pengaruh Rekonfigurasi Jaringan Terhadap Pembebanan Transformator Pada Gardu Distribusi Ka 1316 Penyalang Sriwijaya,” vol. 4, no. 3, pp. 125–130, 2014.
- [6] G. A. Setia, F. Haz, and G. H. M. Sianipar, “Performa Metode Aliran Daya Fast Decoupled di Jaringan Distribusi,” vol. 3, no. 2, pp. 249–254, 2018, doi: 10.31544/jtera.v3.i2.2018.249–254.
- [7] I. M. A. Nugraha and I. G. M. N. Desnanjaya, “Penempatan Dan Pemilihan Kapasitas Transformator Distribusi Secara Optimal Pada Penyalang Perumnas,” *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 4, no. 1, pp. 33–44, 2021, doi: 10.31598/jurnalresistor.v4i1.722.
- [8] PT. PLN (persero), “Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga,” *PT. PLN*, no. 1, 2014.
- [9] PT. PLN, “Standar-Standar Tegangan,” *Standar Perusah. List. Negara*, p. 5, 1995.
- [10] I. M. A. Subawa, A. A. G. M. Pemayun, and I. W. A. Wijaya, “Rekonfigurasi Saluran Distribusi 20 kV Pada Penyalang Menjangan Untuk Mengatasi Jatuh Tegangan,” *Spektrum*, vol. 6, no. 3, pp. 101–106, 2019.
- [11] K. Wahyudi Widiatmika, I. W. Arta Wijaya, and I. N. Setiawan, “Analisis Penambahan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Overload Padatransformator Db0244 Di Penyalang Sebelanga,” *J. SPEKTRUM*, vol. 5, no. 2, p. 19, 2018, doi: 10.24843/spektrum.2018.v05.i02.p03.
- [12] S. Azzahra, O. Handayni, and S. Auliya, “Studi Perbaikan Jatuh Tegangan Dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Dengan Pembangunan Gardu Sisip Tipe Portal,” *Kilat*, vol. 8, no. 1, pp. 65–70, 2019, doi: 10.33322/kilat.v8i1.319.
- [13] H. Prasetijo, “Rekonfigurasi Jaringan 20 kV untuk Perbaikan Profil Tegangan dan Susut Daya Listrik,”

- Techno*, vol. 11, no. 2, pp. 56–63, 2010.
- [14] A. S. Abrar Tanjung, Ontosenno Penangsang, “Rekonfigurasi sistem distribusi untuk mengatasi beban lebih dan meminimalkan rugi-rugi pada jaring distribusi menggunakan metode heuristik algoritma,” *Semin. Nas. Apl. Teknol. Inf.*, vol. ISSN 1907-, no. Snati, pp. 23–25, 2007.
- [15] G. H. M. Sianipar, G. Angga Setia, and M. F. Santosa, “Implementation of Axis Rotation Fast Decoupled Load Flow on Distribution Systems,” *3rd IEEE Conf. Power Eng. Renew. Energy*, 2016.