

## **Analisis Operasional Sistem Distribusi Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah di Gardu Induk Serang**

**Dede Fauzul Iman<sup>1</sup>, Putri Khaerunnisa<sup>2</sup>, Hanifah Mutiara Fitri<sup>3</sup>, Didik Aribowo<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Correspondence: 2283220012@untirta.ac.id<sup>1</sup>; 2283220036@untirta.ac.id<sup>2</sup>; 2283220038@untirta.ac.id<sup>3</sup>; d\_aribowo@untirta.ac.id<sup>4</sup>

**Abstrak.** Energi listrik adalah salah satu sumber daya utama yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari dan menjadi indikator penting bagi kemajuan suatu negara. Sistem distribusi tenaga listrik memainkan peran penting dalam memastikan penyediaan energi yang efisien dan andal kepada konsumen. Penyaluran listrik dimulai dari pembangkit listrik, melalui jaringan transmisi dan distribusi, hingga mencapai konsumen akhir. Proses distribusi ini melibatkan berbagai komponen, seperti gardu induk, transformator daya, dan saluran distribusi yang menyesuaikan tegangan sesuai dengan kebutuhan konsumen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis operasional sistem distribusi dari tegangan menengah ke tegangan rendah di Gardu Induk Serang, dengan fokus pada pengurangan kerugian daya, peningkatan kualitas distribusi, serta meminimalkan gangguan dalam sistem. Metode penelitian yang digunakan mencakup studi literatur, observasi terhadap sistem distribusi yang ada, dan wawancara dengan ahli di bidang distribusi listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi distribusi dapat ditingkatkan dengan pengelolaan beban yang lebih baik, pemasangan kapasitor, serta penerapan teknologi modern dalam jaringan distribusi. Dengan demikian, sistem distribusi tenaga listrik yang lebih efisien dapat memberikan manfaat signifikan bagi konsumen dan penyedia energi, mengurangi kerugian daya, dan meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

**Kata Kunci:** Distribusi Tegangan Menengah, Tegangan Rendah, Gardu Induk Serang

**Abstract.** Electrical energy is one of the main resources that is very much needed in everyday life and is an important indicator of a country's progress. The electric power distribution system plays an important role in ensuring efficient and reliable energy supply to consumers. Electricity distribution starts from power plants, through transmission and distribution networks, until it reaches the end consumer. This distribution process involves various components, such as substations, power transformers, and distribution lines that adjust the voltage according to consumer needs. This study aims to analyze the operation of the distribution system from medium voltage to low voltage at the Serang Main Substation, with a focus on reducing power losses, improving distribution quality, and minimizing system disruptions. The research methods used include literature studies, observations of existing distribution systems, and interviews with experts in the field of electricity distribution. The results of the study show that distribution efficiency can be improved with better load management, capacitor installation, and the application of modern technology in the distribution network. Thus, a more efficient electric power distribution system can provide significant benefits to consumers and energy providers, reduce power losses, and improve overall system reliability.

**Keywords:** Medium Voltage Distribution, Low Voltage, Serang Substation

### **PENDAHULUAN**

Saat ini, listrik memiliki peran yang amat penting dalam kehidupan manusia. Dengan pesatnya kemajuan teknologi dan perkembangan zaman, permintaan akan listrik semakin meningkat untuk menunjang berbagai aktivitas. Kehadiran listrik yang terbatas dapat menghambat berbagai kegiatan berlangsung dengan lancar. Pada waktu sekarang, sebagian besar pasokan listrik masih dihasilkan dari bahan bakar fosil seperti batu bara, gas alam, dan minyak bumi [1].

Agar kebutuhan akan listrik terpenuhi dengan baik, diperlukan sistem distribusi yang berfungsi dengan baik dan efisien untuk memastikan kelancaran penyampaian energi kepada konsumen. Penyaluran ini harus mentaati standar yang sudah ditetapkan oleh Kementerian ESDM dan PT PLN, perusahaan negara yang bertanggung jawab atas pengelolaan kelistrikan. Ada dua jenis sistem distribusi listrik, yaitu :

1. Sistem Distribusi Tegangan Menengah (JTM 20 kV) memiliki tegangan kerja yang berada di atas 1 kV hingga maksimal 35 kV.
2. Sistem Distribusi Tegangan Rendah (JTR 380/220 V), dapat menangani tegangan kerja hingga 1 kV.

Distribusi tenaga listrik kepada pengguna melalui Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV bertujuan untuk mengurangi kerugian, menjaga stabilitas sistem, serta menjamin kualitas tegangan yang sesuai dengan standar, demi memenuhi kebutuhan para pengguna dengan optimal [2].

Gardu distribusi merupakan bangunan yang didesain khusus untuk menempatkan gardu transformator guna mengalirkan listrik kepada pengguna, baik di tegangan menengah maupun rendah. Gardu ini dilengkapi dengan berbagai komponen penghubung untuk tegangan menengah dan rendah. Komponen penghubung yang digunakan untuk tegangan menengah di gardu distribusi akan berbeda sesuai dengan konstruksi gardu yang dipilih. Konstruksi gardu

distribusi terbagi dalam dua kategori, yakni gardu distribusi dengan konstruksi pasangan luar serta gardu distribusi dengan konstruksi pasangan dalam [3].

Sistem Distribusi Tegangan Menengah beroperasi pada rentang tegangan dari lebih dari 1 kV hingga 35 kV, sementara Sistem Distribusi Tegangan Rendah beroperasi pada tegangan maksimal hingga 1 kV. Biasanya, jaringan distribusi Tegangan Menengah dimulai dari Gardu Induk atau Pusat Listrik pada sistem yang terisolasi, dan terkadang langsung dari pembangkit listrik di beberapa lokasi. Distribusi jaringan ini ada yang bisa berbentuk radial atau radial *open loop* (terutup). Sementara itu, dalam jaringan distribusi Tegangan Rendah, umumnya digunakan sistem terutama berbentuk radial. Sisi akhir dari jaringan distribusi listrik adalah Sambungan Tenaga Listrik, tempat Alat Pembatas dan Pengukur (APP) diletakkan untuk mengalirkan listrik kepada pelanggan [3].

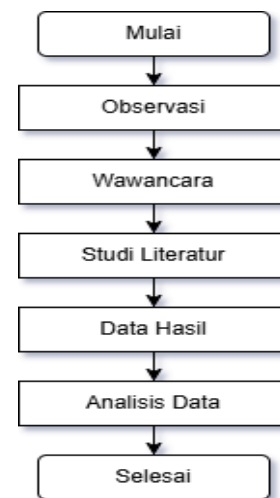
Listrik pedesaan merupakan tenaga listrik yang dihasilkan dan disalurkan untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat di wilayah pedesaan. Keunikan sistem kelistrikan di pedesaan dianggap sangat penting, terutama untuk mendukung kebutuhan pencahayaan. Saat merencanakan dan mengembangkan sistem listrik di pedesaan, perhatikanlah jarak dengan jaringan listrik PLN serta upaya optimalisasi penggunaan sumber daya alam setempat. Lokasi di pedesaan yang terletak jauh dari pusat pembangkit listrik, seperti gardu bertegangan tinggi dan sangat tinggi, memerlukan biaya investasi yang signifikan. Sambil melakukan distribusi, penting untuk mempertimbangkan kemungkinan kehilangan daya. Sebab itulah, sangatlah penting untuk memaksimalkan pemanfaatan energi dari sumber daya alam yang tersedia di sekitar kita [4].

Total panjang jaringan distribusi telah meningkat menjadi 925. 311,58 km, terbagi atas Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan panjang 339. 558,02 km serta Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan panjang 585. 753,56 km. Kapasitas gardu distribusi meningkat sebesar 3. 595,02 MVA (8,32%), dari 43. 183,67 MVA pada tahun 2013 hingga mencapai 46. 778,69 MVA pada akhir tahun 2014. Tak hanya itu, terjadi kenaikan sebanyak 26. 565 unit (7,32%) pada jumlah gardu distribusi, dari 362. 746 unit pada tahun 2013 hingga mencapai 389. 311 unit di tahun 2014. Susutan yang dialami oleh PLN pada tahun 2014 mencapai 21. 423,30 GWh. Penurunan ini terdiri dari penurunan transmisi sebesar 5. 224,63 GWh dan penurunan distribusi sebesar 16. 198,66 GWh. Dengan total produksi listrik bersih mencapai 220. 712,66 GWh, tingkat kehilangan energi dalam pengiriman listrik melalui transmisi sebesar 2,37%, dan dalam proses distribusi mencapai 7,52% [5].

## METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode literatur yang mengkaji standar serta regulasi terkait Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Fokus studi mencakup aturan

mengenai efisiensi distribusi, keandalan jaringan, spesifikasi teknis transformator, serta pengaturan perlindungan dan pemeliharaan sistem distribusi sesuai pedoman operasional untuk pembangkit dan distribusi listrik. Data juga diperoleh dari analisis studi kasus serta laporan teknis terkait kinerja sistem distribusi di berbagai daerah operasional.



Gambar 1. Alur Penelitian

Data dikumpulkan melalui studi literatur yang meliputi sumber-sumber seperti jurnal ilmiah, buku referensi, laporan penelitian, dan dokumen teknis yang berhubungan dengan sistem distribusi listrik. Pengamatan juga dilakukan dengan meninjau data teknis dari lapangan, termasuk pengukuran beban listrik, kualitas daya, suhu komponen, dan performa komponen distribusi seperti transformator, kabel, panel distribusi, dan alat proteksi. Wawancara melibatkan pertanyaan mendalam, pembelajaran teori, serta diskusi langsung dengan para ahli di bidang distribusi listrik untuk mendapatkan wawasan mengenai efisiensi, tantangan di lapangan, solusi teknis, dan inovasi terbaru dalam teknologi distribusi.

## HASIL

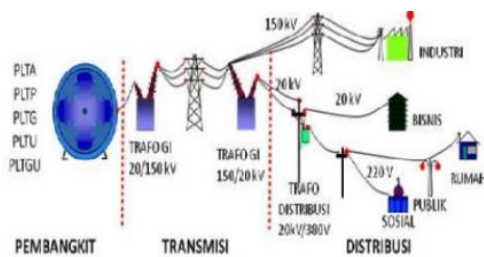
Gardu Induk berperan dalam merubah tegangan listrik dari satu level ke level lain. Mulai dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 kV/150 kV), tegangan tinggi ke tegangan lebih rendah (150 kV/70 kV), atau tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV/20 kV atau 70 kV/20 kV) tanpa perubahan frekuensi yang tetap, yakni 50 Hertz di Indonesia. Pengelolaan distribusi beban listrik dilakukan dengan mengirimkan listrik dari satu Gardu Induk ke Gardu Induk lainnya melalui tegangan tinggi. Setelah tegangan turun saat melewati jaringan penyulang (*feeder*) tegangan menengah, listrik sampai ke gardu distribusi. Adapun fungsi gardu distribusi:

1. Menyalurkan listrik dengan tegangan menengah kepada pelanggan yang menggunakan tegangan rendah;

2. Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah, lalu mendistribusikannya kepada pelanggan dengan tegangan rendah;
3. Menyalurkan listrik dengan tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya atau gardu penghubung.

### Sistem Tenaga Listrik

Selaras dengan kemajuannya, tenaga listrik mengalir dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui rangkaian transmisi yang panjang. Agar tegangan yang dihasilkan di stasiun pembangkit dapat dimanfaatkan dengan efisien di pusat beban, transformator digunakan sebagai perangkat elektromagnetik untuk menyesuaikan tegangan. Tegangan ditingkatkan ketika mengirim listrik jarak jauh agar mengurangi kehilangan daya, kemudian dikurangi lagi saat mendekati pusat pemakaian, sehingga listrik dapat digunakan dengan aman dan efisien oleh konsumen akhir [6].



Gambar 2. Skema Sistem Tenaga Listrik

Pada masa kini, sistem distribusi listrik dibagi menjadi dua kategori utama berdasarkan tegangan yang digunakan. Kategori pertama disebut (1) Distribusi Primer atau Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM), dengan tegangan operasi sekitar 20 kV atau 11,6 kV. (2) Distribusi sekunder umumnya dikenal sebagai Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 400/230 volt.

Pada Gardu Induk (GI), tegangan menengah mengalir melalui saluran distribusi primer ke gardu distribusi (GD) atau langsung ke pengguna tegangan menengah (TM). Dari saluran distribusi utama, tegangan menengah (TM) diubah menjadi tegangan rendah (TR) 220V/380V di gardu distribusi (GD). Tegangan rendah yang dipancarkan dari gardu distribusi dialirkan melalui saluran tegangan rendah menuju konsumen dengan voltase lebih rendah.

### Transformator Daya

Transformator daya umumnya dipakai di dalam sistem transmisi listrik jarak jauh untuk membawa arus listrik dalam jumlah besar. Fungsinya ialah untuk meningkatkan tegangan di gardu induk pembangkit supaya daya dapat dihantar melalui saluran elektrik jauh dengan lebih kurang kerugian daya, melalui pengubahsuaian besar tegangan tetapi mengekalkan frekuensi yang tetap stabil.



Gambar 3. Transformator Daya

### Cubicle 20 KV (HV Cell 20 KV)

Cubicle 20 KV (HV Cell 20 KV) ialah sistem switchgear bagi tegangan menengah (20 kV), yang mengambil sumber daripada output transformator daya. Tenaga ini kemudian dialirkan kepada pengguna melalui penyulang yang bersambung dengan cubicle berkenaan. Arus listrik dari penyulang ini disalurkan ke berbagai pusat beban. Beberapa bagian dan susunan yang terdapat di dalam cubicle termasuk:

1. Panel penghubung (*couple*).
2. *Incoming cubicle*.
3. *Circuit breaker* (CB)
4. *Current Transformer* (CB).
5. *Komponen Proteksi dan pengukuran*.
6. *Bus sections*.
7. *Feeder* atau penyulang



Gambar 4. Panel Kontrol

Distribusi melibatkan beraneka ragam komponen yang krusial. Transformator distribusi bekerja mengurangi tegangan listrik dari saluran transmisi ke tingkat yang sesuai bagi pelanggan. Saluran distribusi, baik yang bersifat primer maupun sekunder merupakan jalur di mana listrik mengalir dari gardu hingga sampai ke konsumen. Beban pelanggan meliputi berbagai tipe konsumen dari rumah tangga yang memanfaatkan listrik untuk keperluan sehari-hari hingga industri yang memerlukan daya yang lebih besar.

Trafo daya dan trafo distribusi terhubung dalam sebuah sistem distribusi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh pembangkit pertama diubah tegangan oleh trafo daya untuk meningkatkan efisiensi transmisi. Sesampainya di wilayah yang lebih dekat dengan konsumen, tegangan itu kemudian dikurangi lagi oleh trafo distribusi untuk digunakan dengan aman oleh pelanggan. Dengan begitu, trafo daya serta trafo distribusi bekerja secara berkesinambungan serta saling



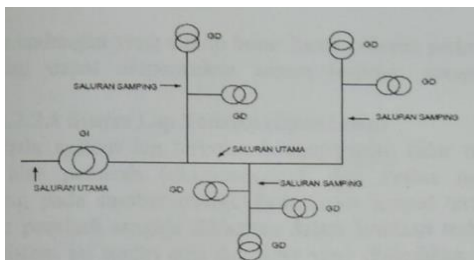
mendukung memastikan aliran listrik dari pembangkit hingga konsumen berlangsung efisien serta aman.

## Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

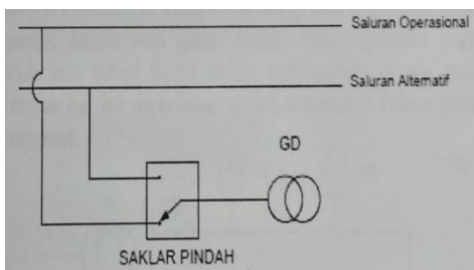
Sistem jaringan distribusi, terutama di distribusi primer, menggunakan tegangan menengah. Ada empat jenis dasar yang utama dalam distribusi ini [7]:

### 1. Sistem Radial

Sistem ini termasuk yang paling mudah dan umum digunakan, dengan *feeder* atau rangkaian terpisah terlihat berasal secara radial dari sumber atau area tertentu. *Feeder* ini juga dapat dilihat sebagai komponen kunci dalam jalur samping atau lateral yang terhubung dengan transformator distribusi. Biasanya, saluran samping terhubung ke *feeder* menggunakan sekering, sehingga kerusakan saluran samping tidak berdampak pada keseluruhan *feeder*. Jika sekering tidak beroperasi dengan lancar atau terjadi masalah pada *feeder*, proteksi saklar daya di gardu induk akan segera beraksi untuk memutuskan arus listrik yang mengalir ke sepanjang *feeder*. Agar pasokan listrik ke fasilitas penting tetap lancar, disediakan *feeder* cadangan sebagai alternatif energi. Pada *feeder* cadangan ini terdapat saklar otomatis yang mampu beroperasi secara otomatis. Jika tegangan utama terputus, saklar akan otomatis beralih ke saluran cadangan untuk menjaga pasokan listrik tetap stabil tanpa jeda yang berkepanjangan.



Gambar 1. Skema Saluran Radikal

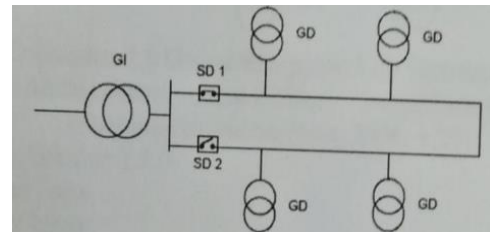


Gambar 2. Penggunaan Saluran Alternatif Dengan Saklar Pindah

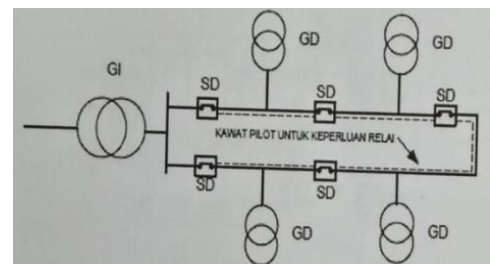
### 2. Sistem Lup

Untuk mengurangi interupsi daya akibat gangguan, cara yang efektif adalah dengan merancang *feeder* dalam bentuk *loop*. Dengan menyambungkan kedua ujung saluran, energi dapat mengalir dari dua arah yang berbeda, meminimalkan waktu terputusnya pasokan listrik. Apabila terjadi

gangguan pada satu arah pasokan, sistem akan dengan segera beralih ke jalur lain untuk memastikan pasokan dapat tetap berlanjut. Setiap *feeder* perlu punya cadangan yang mencukupi buat pastiin pasokan tetap stabil. Sistem *loop* ini mampu beroperasi baik dalam mode terbuka maupun tertutup sesuai keperluan, memberikan fleksibilitas dan tingkat keamanan yang lebih tinggi dalam distribusi listrik.



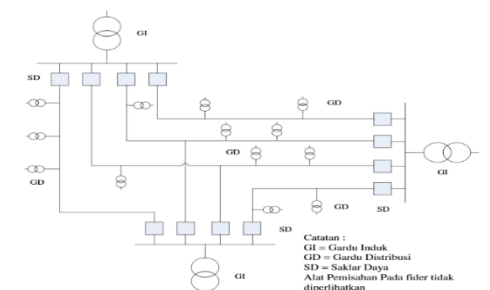
Gambar 7. Skema Rangkaian Lup Terbuka



Gambar 8. Skema Rangkaian Lup Tertutup

### 3. Sistem Jaringan Primer

Meskipun hasil beberapa penelitian menunjukkan keunggulan ekonomis dan keandalan sistem jaringan primer dibandingkan sistem radial dalam beberapa situasi, saat ini jumlah sistem jaringan primer yang beroperasi sangatlah sedikit. Jaringan ini terbentuk dengan menghubungkan saluran-saluran utama atau *feeder* yang ada pada sistem radial.



Gambar 9. Skema Prinsip Kerja Spindel

Jaringan ini sudah disiapkan dengan berbagai sumber daya dan gardu induk. Pada posisi di antara transformator dan jaringan, terdapat saklar daya yang dilengkapi dengan relai arus balik dan relai penutupan otomatis. Fungsinya adalah untuk menjaga jaringan agar terlindungi dari kemungkinan aliran gangguan di sisi gardu induk.

### 4. Sistem Spindel



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunoto, P., & Sofyan, S. (2020). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 Wp Untuk Penerangan Lampu Di Ruang Selasar Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan. *Sigma Teknika*, 3(2), 96-106.
- [2] Dewi, R. (2020). Analisis Komponen Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV di Penyulang Merbau-Jambi. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 3(1), 28-34.
- [3] Jaya, A. (2020). Analisis Rugi Daya dan Rekonsiliasi Energi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 Kv pada Penyulang Nijang. *Jurnal Tambora*, 4(3), 34-40.
- [4] Vaswani, R. (2022). Analisa Jaringan Distribusi Tegangan Menengah Dengan Sistem Single Wire Earth Return Untuk Wilayah Tertinggal, Terdepan Dan Terluar. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 7(1), 1-9.
- [5] Sinaga, D. H., Sasue, R. R. O., & Hutahaean, H. D. (2021). Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan. *Journal Zetroem*, 3(1), 11-17.
- [6] Sukadana, I. W. (2024). Analisis Pembebanan dan Manajemen Transformator Distribusi Terhadap Kenaikan Beban Pasca Pandemi COVID-19. *CYCLOTRON*, 7(01), 45-5
- [7] Ashari, A. (2018). Sistem Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan (Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) APJ Banyuwangi). *CYCLOTRON*, 1(2).
- [8] Sukadana, I. W. (2024). Analisis Pembebanan dan Manajemen Transformator Distribusi Terhadap Kenaikan Beban Pasca Pandemi COVID-19. *CYCLOTRON*, 7(01), 45-5
- [9] Manjang, S., & Gunadin, I. C. (2019). Pelatihan Pemeliharaan Sistem Distribusi Tenaga Listrik pada Tenaga Kerja Perusahaan Bidang Ketenagalistrikan. *JURNAL TEPAT: Teknologi Terapan untuk Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 45-50.
- [10] Syaroni, Z., & Rijanto, T. (2019). Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 20 kV dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1).