

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Perancangan Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik, merupakan suatu kesatuan yang terdiri dari beberapa bagian penting, yaitu pembangkit, transmisi, distribusi, dan beban atau pengguna listrik. Keempat bagian tersebut saling berhubungan dan bekerja secara terpadu untuk memastikan energi listrik dapat disalurkan dari sumber hingga ke pengguna akhir secara efisien dan andal. Dalam proses penyaluran tersebut, stabilitas dan kontinuitas aliran listrik sangat bergantung pada kondisi setiap komponen yang terlibat di dalam sistem.[6]

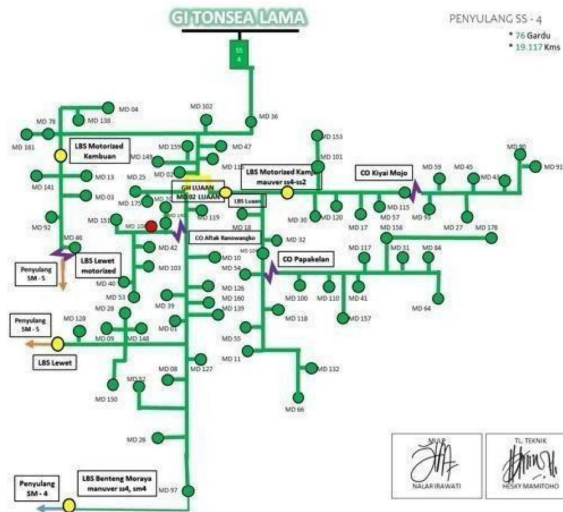
Apabila terjadi gangguan pada salah satu bagian, baik pada sistem pembangkitan, saluran transmisi, maupun jaringan distribusi, maka akan berdampak langsung terhadap kualitas dan kontinuitas pasokan listrik. Gangguan tersebut dapat menyebabkan penurunan tegangan, pemutusan aliran listrik, bahkan kerusakan pada peralatan pengguna. Hal ini tentu dapat menimbulkan kerugian besar, baik bagi pihak penyedia energi listrik maupun konsumen yang bergantung pada listrik untuk kegiatan operasionalnya.[6]

Sumber gangguan pada sistem tenaga listrik secara umum dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gangguan internal dan eksternal. Gangguan internal biasanya disebabkan oleh kerusakan pada salah satu atau beberapa komponen sistem, seperti transformator, penghantar, atau peralatan proteksi yang tidak bekerja dengan baik. Sementara itu, gangguan eksternal sering kali disebabkan oleh faktor alam, misalnya petir, hujan deras, kelembaban tinggi, angin kencang, atau gangguan dari hewan.[6]

Sistem pendistribusian tenaga listrik pada sebuah bangunan bukan sekadar jaringan kabel, melainkan sebuah ekosistem infrastruktur yang berfungsi menyalurkan energi secara presisi dari titik suplai hingga ke pengguna akhir. Dalam operasionalnya, sistem ini mengadopsi prinsip kontinuitas pelayanan dengan mengintegrasikan dua sumber daya utama: jaringan PLN sebagai penyuplai utama dan Genset sebagai sumber cadangan yang siap menggantikan peran PLN saat terjadi gangguan atau pemadaman.[7]

Mata rantai penyaluran energi ini bermula dari Gardu PLN yang mengirimkan daya melalui jaringan tegangan menengah sebesar 20 kV. Daya tersebut diterima oleh panel MV (Medium Voltage) gedung dengan kapasitas tersambung mencapai 315 kVA. Karena tegangan 20 kV terlalu tinggi untuk perangkat

Setelah tegangan stabil di angka 380 Volt, arus listrik diteruskan menuju jantung distribusi gedung, yaitu panel LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*). Di dalam panel LVMDP inilah terjadi manajemen energi yang krusial, di mana daya dibagi ke dalam berbagai sirkuit beban dan dipantau sistem keamanannya. Panel ini juga berfungsi sebagai titik pertemuan antara sumber PLN dan Genset, memastikan bahwa distribusi listrik ke seluruh lantai dan perangkat di dalam gedung tetap terjaga secara efisien, aman, dan terukur.[7]



untuk menampilkan susunan dan hubungan antar komponen listrik secara sederhana dan mudah dipahami. Melalui SLD, sistem kelistrikan pada pembangkit, gardu induk, maupun instalasi distribusi dapat dijelaskan secara ringkas tanpa harus menampilkan seluruh detail kabel atau koneksi sebenarnya.[8]

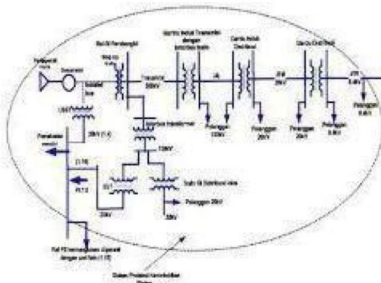
Tentu, mari kita kembangkan kalimat tersebut menjadi narasi yang lebih komprehensif untuk menggambarkan betapa krusialnya peran *Single Line Diagram* (SLD) dalam dunia kelistrikan:

Penggunaan *Single Line Diagram* (SLD) bukan sekadar formalitas dokumentasi, melainkan instrumen vital yang menjadi tulang punggung dalam seluruh siklus hidup sistem kelistrikan modern. Di fase perencanaan, SLD berfungsi sebagai cetak biru yang memungkinkan para insinyur memetakan topologi jaringan secara efisien, memastikan bahwa distribusi daya dirancang dengan perhitungan teknis yang presisi. Saat sistem mulai beroperasi, diagram ini berubah menjadi panduan navigasi real-time bagi operator untuk memantau aliran energi serta memahami interkoneksi antar komponen utama. Kejelasan visual yang ditawarkan SLD mempermudah identifikasi posisi dan status operasional setiap peralatan, mulai dari transformator yang meregulasi tegangan hingga beban akhir yang mengonsumsi daya. Selain itu, peran krusial SLD sangat menonjol pada aspek pemeliharaan dan prosedur keselamatan kerja di lapangan. Ketika terjadi gangguan atau diperlukan perawatan rutin, teknisi dapat dengan cepat menentukan titik isolasi melalui pemutus sirkit (*circuit breaker*) yang tertera pada diagram untuk mencegah risiko kecelakaan kerja. Dengan memperlihatkan fungsi spesifik dari setiap perangkat dalam satu garis koordinasi yang sederhana namun informatif, SLD meminimalkan potensi kesalahan manusia yang bisa berdampak fatal. Tanpa adanya diagram yang akurat, pengelolaan sistem yang kompleks akan menjadi sangat berisiko dan tidak efisien. Oleh karena itu, SLD bertindak sebagai bahasa universal yang menyatukan pemahaman antara perencana, operator, dan tim pemeliharaan demi menjaga keandalan sistem. Integrasi informasi yang komprehensif dalam satu lembar visual ini memastikan bahwa setiap keputusan teknis diambil berdasarkan data posisi dan status peralatan yang valid. Akhirnya, keberadaan SLD yang selalu diperbarui (up-to-date) menjadi jaminan bahwa operasional kelistrikan dapat berjalan secara berkelanjutan, aman, dan optimal dalam jangka panjang.

. Dengan adanya diagram satu garis, hubungan elektrikal yang kompleks dapat disederhanakan, sehingga mempermudah teknisi dan insinyur dalam menganalisis, memonitor, serta memastikan keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik secara keseluruhan.[8]

2.1.3 Sistem Distribusi

Berikut adalah Sistem Distribusi diantaranya ialah



Gambar 2. 2 Sistem Distribusi
Sumber : <https://sinarmonas.co.id/>

Sistem distribusi listrik merupakan sebuah arsitektur infrastruktur yang sangat vital, dirancang secara presisi dan dibangun dengan standar teknis tinggi untuk menyalurkan energi listrik secara kontinu kepada berbagai kategori beban. Jaringan ini memiliki tingkat kerumitan yang sangat signifikan karena mencakup rangkaian proses transformasi tegangan serta pengaturan aliran daya yang sangat dinamis, mulai dari titik gardu induk sebagai sumber utama hingga menyentuh perangkat elektronik di tingkat konsumen akhir. Dalam operasionalnya, sistem ini tidak hanya sekadar mengalirkan arus, tetapi juga melibatkan integrasi berbagai komponen proteksi, transformator step-down, dan sistem kendali otomatis guna menjamin stabilitas serta keandalan pasokan energi. Kompleksitas tersebut semakin meningkat seiring dengan kebutuhan untuk menjaga kualitas daya agar tetap berada pada batas toleransi yang diizinkan, sekaligus meminimalisir potensi rugi-rugi teknis di sepanjang saluran penyulang. Oleh karena itu, efisiensi dalam setiap jengkal kabel distribusi menjadi faktor penentu utama dalam keberhasilan penyaluran energi yang efektif bagi sektor industri maupun rumah tangga secara luas. Pada bangunan gedung, sistem distribusi listrik berfungsi sebagai jaringan yang mengatur sekaligus menyalurkan energi listrik dari sumber utama menuju berbagai peralatan dan fasilitas yang ada di dalam gedung agar kebutuhan daya dapat terpenuhi secara optimal.[3]

Gardu Distribusi merupakan komponen vital dalam infrastruktur kelistrikan yang berfungsi sebagai pusat transformasi energi sekaligus titik temu strategis antara jaringan primer (Tegangan Menengah) dan jaringan sekunder (Tegangan Rendah). Di dalam instalasi ini, terdapat transformator distribusi yang mengemban tugas utama untuk menurunkan level tegangan dari menjadi tegangan layak pakai sebesar atau . Proses konversi ini sangat esensial guna memastikan energi listrik dapat dialirkan dengan aman dan efisien langsung ke lingkungan pelanggan, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri kecil. Selain sebagai pengubah tegangan, gardu ini juga dilengkapi dengan sistem proteksi dan panel pembagi yang membagi beban listrik ke berbagai sirkit penyulang sekunder secara merata. Penempatan gardu yang strategis sangat memengaruhi kualitas profil tegangan dan meminimalisir rugi-rugi daya (*losses*) yang terjadi selama proses transmisi energi. Dengan demikian, Gardu Distribusi tidak hanya berfungsi sebagai jembatan fisik antar jaringan, tetapi juga sebagai pengawal stabilitas pasokan listrik di tingkat hilir. Keberadaannya menjamin bahwa fluktuasi pada jaringan primer tidak langsung berdampak pada perangkat elektronik sensitif milik konsumen. Melalui pemeliharaan yang rutin pada komponen di dalamnya, keandalan sistem distribusi secara keseluruhan dapat terjaga dengan optimal.[9]

2.1.4 LVMDP

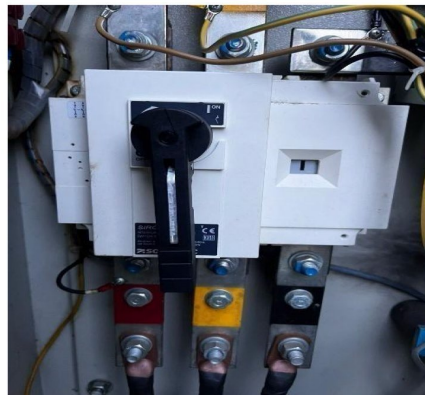
Rangkaian Rangkaian distribusi instalasi listrik tiga fasa pada sebuah gedung umumnya menggunakan panel daya sebagai pusat pembagi beban listrik agar distribusi daya pada masing-masing fasa — R, S, dan T — tetap seimbang. Panel daya ini dikenal dengan sebutan Panel Utama Tegangan Rendah atau *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP). Panel tersebut berperan penting dalam menjaga kestabilan sistem kelistrikan dengan memastikan setiap fasa menerima beban yang proporsional, sehingga mencegah terjadinya ketidakseimbangan yang dapat mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan.[4]

Disebut sebagai sistem *low voltage* karena tegangan operasionalnya berada pada kisaran 220 volt untuk satu fasa (antara salah satu fasa dengan netral) dan 380 volt untuk sistem tiga fasa (antara antar fasa R, S, dan T). Tegangan tersebut umum digunakan dalam instalasi listrik gedung perkantoran, perumahan, maupun fasilitas komersial.[4]



Gambar 2. 3 Panel LVMDP
Sumber : Pribadi

Secara fungsional, LVMDP berperan sebagai penerima daya utama dari sumber listrik baik dari jaringan PLN maupun genset (generator set) sebagai sumber cadangan. Setelah menerima daya, panel ini kemudian mendistribusikannya ke panel tingkat berikutnya, yaitu *Low Voltage Sub Distribution Panel* (LVSDP). Dari LVSDP inilah energi listrik dialirkan ke berbagai peralatan, mesin, atau beban yang tersebar di seluruh area gedung.[4]



Gambar 2. 4 Komponen PHBTR
Sumber Pribadi

Selain sebagai penghubung dan pengatur aliran daya, LVMDP juga dilengkapi dengan perangkat proteksi seperti circuit breaker, fuse, dan metering system untuk memastikan sistem kelistrikan bekerja secara aman, efisien, dan mudah dalam pengawasan serta pemeliharaan. Dengan demikian, panel ini menjadi elemen krusial dalam sistem distribusi tenaga listrik tegangan rendah pada bangunan modern.[4]

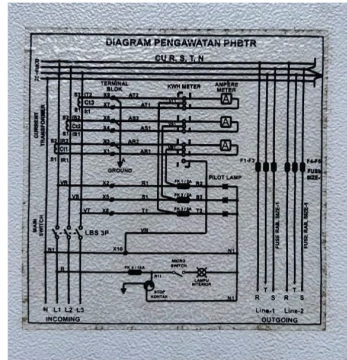


Gambar 2. 5 Spesifikasi LVMDP

Nameplate pada peralatan listrik bermerk Voltra ini menunjukkan identitas dan spesifikasi utama dari sebuah panel atau perangkat distribusi daya yang diproduksi oleh PT. Mega Karya Perkasa. Dari label tersebut terlihat bahwa perangkat ini dibuat mengikuti standar SPLN D3.016-1:2010, yang memastikan kesesuaian dengan ketentuan distribusi tenaga listrik di Indonesia. Tegangan kerjanya sebesar 400 V dengan arus nominal 400 A, menandakan bahwa alat ini dirancang untuk aplikasi daya menengah, seperti pada jaringan distribusi atau panel utama industri. Tipe perangkat PL-400-2-LBS mengindikasikan bahwa ini adalah panel atau load break switch berkapasitas 400 ampere. Selain itu, tingkat perlindungan IP34 menunjukkan kemampuan perangkat untuk bertahan dari percikan air dan benda padat berukuran sedang, sehingga cocok ditempatkan di area outdoor terlindung atau lingkungan industri dengan paparan ringan. Secara keseluruhan, nameplate ini memberikan informasi bahwa perangkat tersebut kuat, sesuai standar, dan aman digunakan dalam sistem distribusi listrik bertegangan rendah-menengah.

2.1.5 SPLN PHBTR

Standar Teknis dan Acuan Mengacu pada standar IEC internasional (IEC 60439-1/5, IEC 60947-2/3, IEC 60269-1/2, IEC 60529) serta SNI/SPLN terkait (misalnya SPLN D3.014-1:2009 untuk trafo arus, SNI 04-6629:2006 kabel PVC, SNI IEC 60502-1:2009 kabel daya, SPLN 42-10:1993 kabel udara, SNI 04-3892.1-2006 stopkontak, SPLN 3:1978 pentanahan) Spesifikasi komponen (saklar, fuse, isolator, dsb) wajib memenuhi IEC/PLN yang tercantum.



Gambar 2. 6 Diagram Pengawatan PHBTR

Pengujian dan Inspeksi: PHB-TR wajib melalui uji jenis (type test) lengkap di laboratorium PLN dengan dokumentasi komprehensif (bahan busbar, tipe selungkup, torsi baut, dsb.). Keselamatan dan Perlindungan: Seluruh bagian tegangan dan logam terlindung oleh selungkup IP34 untuk menghindari kontak langsung. Komponen isolasi (terminal, insulator pendukung busbar, dsb.) terbuat dari bahan tahan api yang dapat memadamkan sendirinya (self-extinguishable).

2.1.6 Magnetic Contactor

Magnetic Contactor merupakan suatu perangkat listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik untuk mengendalikan beban daya tinggi secara aman. Di dalam kontaktor terdapat kumparan (coil) yang apabila dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet kuat pada inti besinya, yang kemudian menarik jangkar besi (armature) untuk bergerak ke arah inti tetap. Pergerakan mekanis ini menyebabkan kontak-kontak utama (main contacts) berpindah posisi dari terbuka (Normally Open)

menjadi tertutup, sehingga arus listrik besar dapat mengalir menuju motor atau beban listrik lainnya. Begitu aliran listrik pada coil diputus, medan magnet akan menghilang dan pegas pengembali (return spring) akan mendorong armature kembali ke posisi semula untuk memutus sirkuit. Selain kontak utama, perangkat ini biasanya dilengkapi dengan kontak bantu (auxiliary contacts) yang berfungsi dalam rangkaian pengunci (latching) atau indikator lampu sistem. Penggunaan magnetik kontaktor sangat krusial dalam dunia industri karena memungkinkan pengendalian peralatan voltase tinggi hanya dengan sinyal kendali berarus kecil. Desainnya yang kokoh juga dirancang untuk memadamkan busur api (arc) yang muncul saat pemutusan arus, sehingga memperpanjang usia pakai komponen listrik. Dengan demikian, kontaktor bertindak sebagai jembatan cerdas yang memastikan operasional mesin berjalan secara otomatis dan terproteksi dari risiko beban berlebih.. Medan magnet ini menyebabkan kontak bergerak akibat tarikan gaya magnet tersebut. Saat kumparan aktif, kontak bantu NO (Normally Open) akan tertutup, sedangkan kontak bantu NC (Normally Close) akan terbuka.



Gambar 2. 7 Kontaktor
Sumber : <https://www.anakteknik.co.id>

Secara umum, kontaktor memiliki dua jenis kontak, yaitu kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama berfungsi untuk mengalirkan arus pada rangkaian daya, sementara kontak bantu digunakan dalam rangkaian kontrol untuk mengatur sistem kerja kontaktor. Di dalam kontaktor elektromagnetik juga terdapat kumparan utama yang melilit pada inti besi serta kumparan hubung singkat yang berfungsi sebagai peredam getaran ketika kedua inti besi saling menempel. Dengan cara kerja tersebut, magnetic contactor berperan penting dalam sistem kendali motor listrik, terutama dalam proses menghubungkan dan memutus arus listrik secara otomatis dan aman.[10]

2.1.7 MCCB

MCCB (Moulded Case Circuit Breaker) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem kelistrikan yang berfungsi sebagai alat proteksi dan pengendali arus listrik. Komponen ini bekerja dengan cara membatasi arus yang mengalir pada rangkaian serta memutuskan aliran listrik secara otomatis apabila terjadi kondisi abnormal seperti arus lebih (*overcurrent*) atau hubungan singkat (*short circuit*). Dengan demikian, MCCB berperan besar dalam menjaga keamanan instalasi listrik serta melindungi peralatan dari kerusakan akibat gangguan listrik.[11]

Terdapat dua jenis kapasitas MCCB yang umum digunakan dalam sistem panel, yaitu MCCB dengan kapasitas tetap (*fixed type*) dan MCCB dengan kapasitas yang dapat diatur (*adjustable type*). Pada MCCB kapasitas tetap, nilai arus nominal (*rated current*) sudah ditentukan secara permanen sesuai dengan spesifikasi yang tercantum pada *nameplate* alat tersebut. Artinya, MCCB hanya akan bekerja dan memutuskan rangkaian ketika arus melebihi batas yang telah ditetapkan oleh pabrikan.[11]

Moulded Case Circuit Breaker, atau yang lebih dikenal dengan singkatan MCCB, merupakan komponen proteksi aktif yang berfungsi vital sebagai pembatas sekaligus pemutus arus otomatis dalam sebuah rangkaian listrik. Dalam aplikasinya pada panel distribusi, MCCB memiliki fleksibilitas operasional yang terbagi ke dalam dua jenis kapasitas utama: kapasitas tetap (*fixed*) dan kapasitas bervariasi (*adjustable*).

Pada unit dengan kapasitas tetap, mekanisme proteksi bekerja secara kaku sesuai dengan nilai arus nominal yang tercantum pada *nameplate* pabrikan, sehingga tidak memungkinkan adanya perubahan parameter di lapangan. Sebaliknya, MCCB dengan kapasitas bervariasi menawarkan keunggulan lebih tinggi karena memungkinkan teknisi untuk mengatur ambang batas kerja arus sesuai kebutuhan spesifik beban. Melalui fitur penyetelan ini, kapasitas proteksi dapat disesuaikan secara presisi di antara rentang nilai yang tertera pada *nameplate*, memberikan perlindungan yang lebih adaptif dan akurat terhadap fluktuasi beban listrik dalam sistem.

2.1.8 Trafo

Transformator, atau yang biasa disebut trafo, merupakan perangkat listrik yang berfungsi untuk mengubah tingkat (taraf) tegangan arus bolak-balik (AC) dari satu nilai ke nilai lainnya tanpa mengubah frekuensinya. Pengubahan taraf tegangan ini dapat berupa penurunan tegangan (step-down) — misalnya dari 220 VAC menjadi 12 VAC — maupun penaikan tegangan (step-up), seperti dari 110 VAC menjadi 220 VAC. Fungsi ini membuat transformator menjadi komponen vital dalam sistem tenaga listrik, baik untuk keperluan distribusi daya maupun perangkat elektronik rumah tangga.[12]



Gambar 2. 8 Trafo

Sumber : Pribadi

Secara prinsip, transformator termasuk ke dalam mesin listrik statis, artinya alat ini tidak memiliki bagian yang bergerak untuk menghasilkan energi listrik. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana energi listrik ditransfer dari satu rangkaian ke rangkaian lain melalui medan magnet yang terbentuk antara dua lilitan kawat, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Energi berpindah secara efisien melalui proses induksi tanpa adanya hubungan langsung antara kedua rangkaian tersebut. Kinerja transformator didasari oleh Hukum Ampere dan Hukum Induksi Faraday, yang menjelaskan bagaimana perubahan arus pada kumparan primer dapat menimbulkan gaya gerak

listrik (GGL) pada kumparan sekunder. Mekanisme ini memungkinkan terjadinya konversi tegangan sesuai dengan perbandingan jumlah lilitan pada masing-masing kumparan[12]

Selain memiliki peran penting dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik, transformator juga digunakan pada berbagai aplikasi seperti adaptor, charger, peralatan elektronik, dan sistem kontrol industri. Sifatnya yang efisien, andal, dan mudah dioperasikan menjadikan transformator sebagai salah satu komponen kunci dalam dunia kelistrikan modern. Tanpa adanya transformator, penyaluran energi listrik dari pembangkit hingga ke pengguna akhir tidak akan dapat dilakukan secara efektif maupun aman.[12]

Prinsip Kerja Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Alat ini terdiri dari dua kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Meskipun keduanya terpisah secara elektrik, mereka terhubung secara magnetis melalui inti besi dengan hambatan magnet (reluktansi) yang rendah.[13]

Prosesnya bekerja sebagai berikut:

1. Arus Bolak-Balik (AC): Saat kumparan primer dialiri tegangan AC, muncul fluks magnetik yang berubah-ubah di dalam inti besi.
2. Induksi Diri & Bersama: Fluks ini menyebabkan terjadinya induksi diri pada kumparan primer dan induksi bersama (*mutual induction*) pada kumparan sekunder.
3. Transfer Energi: Induksi tersebut menghasilkan tegangan pada kumparan sekunder. Jika beban dipasang pada rangkaian sekunder, arus akan mengalir, sehingga energi listrik berpindah melalui media magnetisasi.

B. Komponen Utama Transformator

Untuk menjalankan fungsinya dengan optimal, transformator didukung oleh beberapa komponen vital:[13]

1. Inti Besi: Berfungsi sebagai media penyalur fluks magnet. Inti ini terbuat dari lapisan plat baja tipis berisolasi untuk meminimalkan panas akibat arus pusar (*Eddy Current*).
2. Kumpanan: Terdiri dari lilitan kawat tembaga berisolasi. Kumpanan ini dipisahkan dari inti besi maupun kumpanan lainnya menggunakan isolator padat seperti karton atau pertinax.
3. Minyak Transformator: Pada transformator daya besar, kumpanan dan inti direndam dalam minyak khusus. Minyak ini berfungsi ganda: sebagai isolator elektrik dan sebagai media pendingin untuk menyerap panas operasional.
4. Tangki dan Konservator: Tangki berfungsi sebagai wadah utama bagi kumpanan dan minyak. Di atasnya biasanya terdapat konservator untuk menampung ruang muai minyak saat suhu meningkat.
5. Bushing: Merupakan sarana penghubung antara terminal kumpanan di dalam tangki dengan jaringan listrik di luar. Bushing terdiri dari konduktor yang dibungkus isolator untuk mencegah terjadinya korsleting ke badan tangki.

Fokus utama dari kajian ini adalah mengidentifikasi serta menganalisis besaran rugi-rugi daya (*losses*) yang muncul sebagai konsekuensi langsung dari fenomena ketidakseimbangan beban antar fasa. Ketidakseimbangan ini sering kali memicu aliran arus pada penghantar netral dan menyebabkan kenaikan suhu pada transformator, yang jika dibiarkan akan memperpendek umur teknis peralatan. Untuk mendapatkan data yang akurat dan reliabel, metodologi penelitian diterapkan melalui observasi lapangan dan pengambilan data primer secara langsung. Proses pengukuran arus dan tegangan dilakukan menggunakan *clamp meter* untuk mendapatkan nilai beban aktual pada setiap fasa secara *real-time*. Selain itu, penggunaan *earth tester* juga diintegrasikan untuk memverifikasi nilai resistansi pembumian guna memastikan sistem proteksi bekerja optimal terhadap arus bocor. Melalui kombinasi data dari kedua alat ukur tersebut, perhitungan matematis kemudian dilakukan untuk memetakan persentase ketidakseimbangan dan total daya yang terbuang. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis terkait pemerataan beban demi meningkatkan keandalan suplai energi listrik. Dengan demikian, optimalisasi pada Gardu LSA 249 dapat tercapai melalui pengurangan rugi-rugi teknis secara signifikan dan berkelanjutan.[14]

Klasifikasi dan Fungsi Transformator dalam Sistem Tenaga Listrik

Transformator (trafo) memegang peranan vital dalam menyalurkan energi listrik dari pembangkit hingga ke konsumen. Berikut adalah empat jenis trafo yang paling umum digunakan beserta fungsinya masing-masing:[15]

1. Transformator Daya (Power Transformer)

Trafo daya merupakan komponen utama pada Gardu Induk (GI), baik di sisi pembangkitan maupun transmisi. Karakteristik utamanya adalah kapasitas daya yang sangat besar dan ketahanan terhadap tegangan tinggi.[15]

- Fungsi: Menaikkan tegangan (*step-up*) dari pembangkit atau menurunkan tegangan (*step-down*) untuk keperluan transmisi antar wilayah.

2. Transformator Distribusi (Distribution Transformer)

Ini adalah jenis trafo yang paling sering kita jumpai di area pemukiman. Biasanya terpasang pada tiang listrik (trafo cantol) atau di dalam gardu beton kecil.

- Fungsi: Mengonversi tegangan menengah (seperti 10 kV) menjadi tegangan rendah yang siap digunakan oleh peralatan rumah tangga atau industri kecil (atau 220V).

3. Transformator Tegangan (Potential Transformer/PT)

Trafo ini termasuk dalam kategori trafo instrumen. Fungsinya bukan untuk menyalurkan daya, melainkan untuk keperluan pengukuran dan proteksi.

- Fungsi: Menurunkan level tegangan tinggi menjadi tegangan rendah yang proporsional (sesuai rasio belitannya). Hal ini memungkinkan alat ukur (seperti voltmeter) atau relai proteksi bekerja dengan aman tanpa harus terhubung langsung ke tegangan tinggi.

4. Transformator Arus (Current Transformer/CT)

Serupa dengan PT, trafo arus juga merupakan trafo instrumen yang digunakan untuk mengambil data parameter listrik di jalur utama.

- Fungsi: Mengonversi nilai arus yang besar menjadi arus kecil (biasanya standar atau 5A) melalui perbandingan lilitan tertentu. Data arus ini kemudian digunakan untuk memantau beban atau memicu sistem pengamanan jika terjadi arus pendek.[15]

2.2 Penelitian Yang relevan

Untuk menunjang pada penelitian ini, ada beberapa jurnal yang terkait sebagai referensi dan pedoman dasar dasar yang sesuai dengan topik penelitian ini sebagai berikut diantaranya ialah :

Tabel 2. 1 Penelitian Yang Relevan

No	Judul, Penulis Dan Tahun	Metode/Model	Potensi Dalam Penelitian
1	Analisis Unjuk Kerja Air Circuit Breaker Tipe 3WL pada <i>Low Voltage Main Distribution Panel</i> dengan Metode Direct Charge pada PT Siemens Indonesi Penulis: Alex Fernandes, Kartika Tresya Mauriraya, dkk	Eksperimen dan pengujian menggunakan metode direct charge untuk menilai performa ACB (Air Circuit Breaker) dalam kondisi overcurrent (long, short, instant).	Dapat dikembangkan pada penelitian ini cara analisis arus gangguan, relevan untuk studi performa dan keselamatan panel.
2	Perencanaan Instalasi Listrik Gedung Warehouse PT XYZ Semarang Jawa Tengah Penulis : Edy Sumarno, Irawati, Ria Gazali	Metode Perhitungan manual dan analisis beban listrik sesuai standar PUIL 2011	Menjadi acuan dalam perancangan panel LVMDP pada gedung besar dan pembagian beban antar panel; relevan untuk desain distribusi daya dan efisiensi jaringan.

No	Judul, Penulis Dan Tahun	Metode/Model	Potensi Dalam Penelitian
3	Analisis Hot Point Panel LVMDP Kapasitas 1250 kVA dengan Metode Infrared Thermography Penulis ; Agus Setiawan & Lili Solihin	Metode Infrared Thermography (non-destruktif) untuk deteksi dini titik panas pada panel LVMDP.	Relevan dalam aspek pemeliharaan prediktif dan keselamatan panel, dapat digunakan untuk studi monitoring suhu dan peringatan dini gangguan listrik.
4	Rancang Bangun Pengaman Panel Distribusi Tenaga Listrik di Lippo Plaza Sidoarjo dari Kebakaran Berbasis Arduino Nano Elektrik Penulis ; Achmad Sholih & Jamaaluddin	Rancang bangun sistem otomatis berbasis mikrokontroler (Arduino Nano) dengan sensor suhu dan cahaya (LM35DZ, LDR).	Penelitian ini menjadi dasar Memberikan potensi pengembangan sistem proteksi otomatis terhadap suhu tinggi dan percikan api pada panel LVMDP.

No	Judul, Penulis Dan Tahun	Metode/Model	Potensi Dalam Penelitian
5	Perancangan Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP) untuk Optimalisasi Distribusi Listrik Mall Karawaci Tangerang Penulis; Ilham Dzaki & Reni Rahmadewi[3]	Metode deskriptif–observasi dan wawancara, dengan analisis kebutuhan beban mall.[3]	Relevan untuk rancangan panel distribusi besar, fokus pada optimasi energi, manajemen beban, dan keandalan sistem distribusi.
6	Perakitan dan Pengujian Panel Daya Listrik Portable LVMDP dengan Proteksi Urutan Fasa Penulis; Gunadi Tjahjono, Ichsan Fahmi, Fransiskus Ray, Yanthonius Hietingwati[4]	Eksperimen laboratorium: pengujian arus, tegangan, daya tiga fasa dan tahanan isolasi.[4]	Potensi:Menjadi referensi teknis pengujian panel tiga fasa serta proteksi urutan fasa yang penting untuk kestabilan sistem.

No	Judul, Penulis Dan Tahun	Metode/Model	Potensi Dalam Penelitian
7	Streamlining Electrical Distribution Using LVMDP Panels in Indonesia Penulis ; Achmad Arif Dwi Prasetyo & Agus Hayatal Falah[5]	Metode deskriptif–observasi melalui program magang industri, dengan analisis pembagian beban fasa R-S-T.[5]	Menunjukkan penerapan LVMDP dalam konteks pendidikan dan industri, relevan untuk studi keseimbangan beban dan efisiensi distribusi daya.