

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan rangkaian kompleks yang terdiri dari beberapa elemen penting, yakni pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Dalam konteks pembangkitan, energi mekanik diubah menjadi energi listrik menggunakan generator di stasiun pembangkit. Pembangkitan dapat melibatkan berbagai sumber, termasuk bahan bakar fosil, tenaga nuklir, atau sumber terbarukan seperti tenaga surya dan angin. Pada tingkat global, pembangkitan energi listrik didominasi oleh bahan bakar fosil (batu bara, gas alam, dan minyak), energi nuklir, dan sumber energi terbarukan (hidro, angin, surya, bioenergi, dan geotermal). Terjadi transisi menuju sumber energi yang lebih bersih dalam rangka menanggapi perubahan iklim dan keberlanjutan lingkungan. Menurut laporan dari organisasi seperti International Energy Agency (IEA) dan Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), energi terbarukan menunjukkan tren pertumbuhan dengan investasi besar pada teknologi surya dan angin. Di Indonesia, negara dengan ekonomi berkembang, terdapat peningkatan signifikan dalam pembangkitan listrik. Potensi besar untuk energi terbarukan terutama berasal dari geotermal, hidro, dan surya, namun batu bara masih menjadi sumber utama. Data tahunan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) dan PLN menunjukkan batu bara masih mendominasi kapasitas pembangkitan, diikuti oleh gas alam, minyak, dan sumber terbarukan. Data ini dapat berubah seiring penambahan kapasitas baru dan perubahan kebijakan energi.



Gambar 2. 1. Diagram Alur Sistem Tenaga Listrik Dari Pembangkitan Hingga Distribusi Ke Konsumen

Sumber: Ruang Energi.com

Fungsi masing-masing komponen secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Pusat Pembangkit Listrik

Merupakan lokasi awal di mana energi listrik dihasilkan. Di dalamnya terdapat turbin sebagai penggerak utama dan generator yang mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Biasanya, pembangkit juga dilengkapi dengan gardu induk yang berisi peralatan seperti transformator untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik.

2. Transmisi Tenaga Listrik

Berfungsi untuk menyalurkan listrik dari pembangkit ke sistem distribusi. Tegangan listrik dari pembangkit dinaikkan ke level tegangan tinggi sesuai standar transmisi di Indonesia, yaitu 70 kV, 150 kV, atau 500 kV, untuk menjaga efisiensi penyaluran dan meminimalkan kehilangan daya.

3. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang langsung terhubung dengan konsumen. Tugas utamanya adalah menyalurkan listrik dari gardu induk ke berbagai titik pengguna. Sistem ini mencakup gardu induk, gardu hubung, jaringan tegangan menengah (6 kV dan 20 kV) yang dapat berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, serta jaringan tegangan rendah (220 V dan 380 V). Di dalamnya juga terdapat gardu distribusi yang memuat panel pengatur tegangan dan transformator distribusi.

4. Jaringan Distribusi

Merupakan rangkaian penghantar yang menyalurkan listrik dari gardu induk pusat beban ke pelanggan akhir, dengan fungsi utama mendistribusikan energi listrik secara langsung ke lokasi konsumen.

Tujuan utama sistem tenaga listrik adalah untuk memastikan tersedianya pasokan energi listrik yang aman dan andal bagi konsumen, sesuai dengan kebutuhan mereka, baik dari sisi tingkat tegangan, kapasitas daya, maupun jumlah energi yang digunakan.

2.1.2 Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang bertugas menyalurkan energi listrik dari sumber utama hingga sampai ke pengguna akhir. Fungsi utamanya meliputi:

1. Menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik ke berbagai lokasi atau pelanggan.
2. Berfungsi sebagai subsistem tenaga listrik yang langsung terhubung dengan konsumen, karena pasokan listrik ke pusat-pusat beban disalurkan melalui jaringan distribusi.

Prosesnya dimulai dari pembangkit listrik yang menghasilkan tegangan antara 11 kV hingga 24 kV. Tegangan ini dinaikkan di gardu induk menggunakan transformator step-up menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV, atau bahkan 500 kV untuk disalurkan melalui jaringan transmisi jarak jauh. Peningkatan tegangan bertujuan mengurangi rugi daya pada saluran, karena rugi-rugi daya berbanding lurus dengan kuadrat arus (I^2R). Dengan tegangan tinggi, arus yang mengalir lebih kecil sehingga kerugian daya dapat ditekan.

Ketika mencapai gardu induk distribusi, tegangan dari sistem transmisi diturunkan menjadi sekitar 20 kV menggunakan transformator step-down. Dari titik ini, energi listrik dialirkan melalui jaringan distribusi primer. Selanjutnya, di gardu distribusi, tegangan tersebut kembali diturunkan oleh transformator distribusi menjadi 220/380 V sebelum akhirnya disalurkan kepada konsumen melalui jaringan distribusi sekunder.

Dengan demikian, sistem distribusi merupakan komponen vital dalam keseluruhan sistem tenaga listrik. Pada penyaluran daya jarak jauh, penggunaan tegangan sangat tinggi (HV, EHV, UHV) memang diperlukan untuk efisiensi, tetapi menimbulkan konsekuensi seperti potensi bahaya bagi lingkungan serta mahal biaya peralatan. Karena itu, sebelum sampai ke konsumen, tegangan harus diturunkan kembali agar sesuai dengan kebutuhan beban. Akibatnya, dari sumber hingga titik beban, terdapat perbedaan level tegangan di setiap tahapan saluran.

2.1.3 Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder merupakan bagian dari sistem distribusi yang dimulai dari gardu trafo hingga mencapai pengguna akhir atau konsumen. Sistem ini berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi menuju beban listrik di sisi konsumen. Pada umumnya, konfigurasi yang digunakan dalam sistem distribusi sekunder adalah sistem radial, yang dapat menggunakan kabel berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Karena sistem ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka perannya sangat penting dalam menerima daya dari trafo distribusi serta menyalurkan dan mendistribusikannya kepada pengguna akhir. Oleh karena itu, kualitas daya listrik pada bagian ini harus benar-benar dijaga. Penyaluran energi listrik pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) sendiri dapat dibedakan menjadi dua jenis sebagai berikut:

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) menggunakan jenis penghantar berupa kabel telanjang tanpa isolasi, misalnya kabel AAAC atau kabel ACSR.
2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR) menggunakan kabel berisolasi, seperti kabel LVTC (Low Voltage Twisted Cable), dengan ukuran antara lain $2 \times 10 \text{ mm}^2$, $2 \times 16 \text{ mm}^2$, $4 \times 25 \text{ mm}^2$, $3 \times 35 \text{ mm}^2$, $3 \times 50 \text{ mm}^2$, dan $3 \times 70 \text{ mm}^2$.

Berdasarkan SPLN No. 3 Tahun 1987, jaringan tegangan rendah mencakup seluruh bagian jaringan beserta perlengkapannya, mulai dari sumber penyaluran tegangan rendah hingga alat pembatas atau pengukur. Sementara itu, STR (Saluran Tegangan Rendah) adalah bagian dari JTR yang tidak termasuk sambungan pelayanan, yaitu bagian yang menghubungkan STR dengan alat pembatas atau pengukur.

2.1.4 Gardu Distribusi Tenaga Listrik

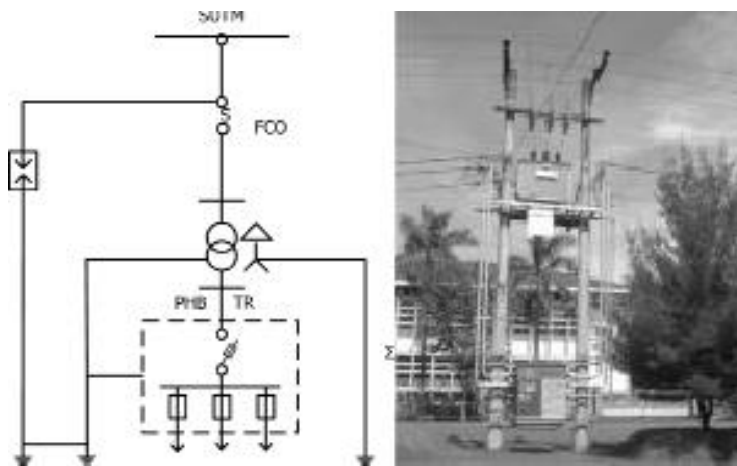
Secara umum, gardu distribusi tenaga listrik adalah bangunan yang memuat instalasi kelistrikan, termasuk Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi, dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR). Fungsi utamanya adalah menyalurkan dan mendistribusikan energi listrik kepada pelanggan, baik yang menggunakan Tegangan Menengah (20 kV) maupun Tegangan Rendah (220/380 V).

Gardu distribusi secara umum dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Berdasarkan jenis pemasangannya:
 - a. Gardu pasangan luar terdiri dari Gardu Portal dan Gardu Cantol.
 - b. Gardu pasangan dalam meliputi Gardu Beton dan Gardu Kios.
2. Berdasarkan jenis konstruksinya:
 - a. Gardu Beton.
 - b. Gardu Tiang, yang mencakup Gardu Portal dan Gardu Cantol.
 - c. Gardu Kios.
3. Berdasarkan jenis penggunaannya:
 - a. Gardu untuk pelanggan umum.
 - b. Gardu untuk pelanggan khusus.

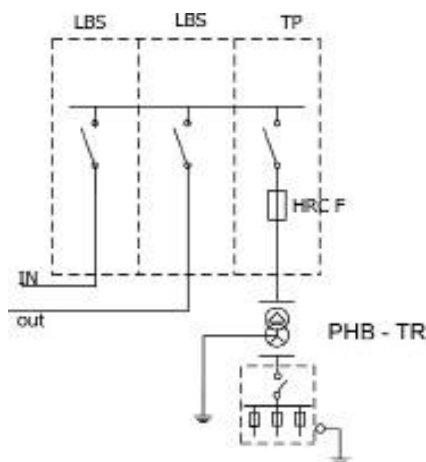
2.1.4.1 Gardu Portal

Secara umum, Gardu Tiang yang menerima pasokan dari SUTM memiliki konfigurasi T-section dan dilengkapi dengan Pengaman Lebur Cut-Out (FCO) untuk melindungi transformator dari gangguan hubung singkat menggunakan elemen pelebur tipe link expulsion. Selain itu, Lightning Arrester (LA) dipasang untuk mencegah lonjakan tegangan pada transformator akibat sambaran petir.



Gambar 2. 2. Gardu Portal dan Bagan Satu Garis
Sumber: SPLN 68-2 1986

Pada Gardu Tiang yang menggunakan sistem jaringan lingkaran terbuka (open-loop), seperti pada distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatannya berbentuk π section. Transformator distribusi dapat diberi catu daya dari arah yang berbeda, baik pada posisi Incoming–Outgoing maupun sebaliknya.



Gambar 2. 3. Bagan satu garis konfigurasi π section Gardu Portal

Sumber: SPLN 68-2 1986

Untuk mengatasi keterbatasan ruang pada Gardu Portal, digunakan konfigurasi switching dan proteksi yang dirakit secara ringkas dalam bentuk RMU (*Ring Main Unit*). Peralatan switching untuk saluran incoming-outgoing dapat berupa Pemutus Beban (LBS/*Load Break Switch*), Pemutus Beban Otomatis (PBO), atau

Circuit Breaker (CB) yang dapat dioperasikan secara manual atau melalui *remote control*.

Fault Indicator (dalam hal ini PMFD: Pole Mounted Fault Detector) perlu dipasang pada section jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.

2.1.4.2 Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (Completely Self Protected Transformer) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.



Gambar 2. 4. Gardu Cantol
Sumber: Google

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (Lightning Arrester) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.

2.1.4.3 Gardu Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (masonry wall building). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.



Gambar 2. 5. Gardu Beton

Sumber: Google

2.1.4.4 Gardu Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan prefabricated terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.



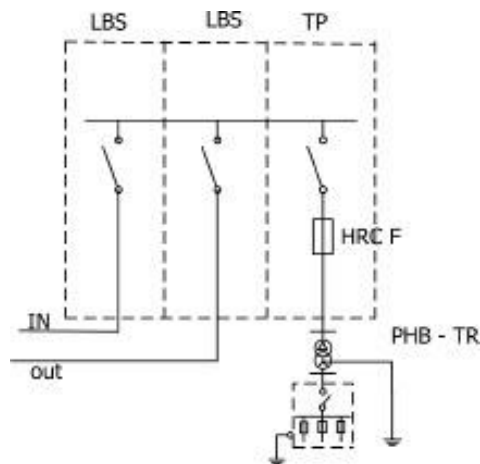
Gambar 2. 6. Gardu Kios

Sumber: Google

Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan Tegangan Rendah. Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnyanya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.

2.1.4.5 Gardu Pelanggan Umum

Secara umum, konfigurasi peralatan pada Gardu Pelanggan Umum menggunakan bentuk π section, sama seperti pada Gardu Tiang yang mendapat pasokan dari SKTM.



Gambar 2. 7. Bagan satu garis Konfigurasi π section Gardu Pelanggan Umum

Sumber: SPLN 68-2 1986

Karena keterbatasan lokasi dan kebutuhan akan keandalan tertentu, gardu dapat dikonfigurasi berbentuk T section dengan pasokan daya dari PHB-TM gardu terdekat, yang disebut Gardu Antena. Untuk mencapai tingkat keandalan yang lebih tinggi dibanding Gardu Pelanggan Umum, gardu dapat disuplai oleh SKTM dari lebih dari satu penyulang, sehingga memiliki beberapa saklar hubung yang dapat dioperasikan secara otomatis (ACOS: Automatic Change Over Switch) atau melalui kendali jarak jauh.

rangkaian saklar beban (*Load Break switch* – LBS), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus Tegangan Menengah. Konstruksi Gardu Hubung sama dengan Gardu Distribusi tipe beton. Pada ruang dalam Gardu Hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk Gardu Distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh.

Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang Gardu Hubung, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusinya.

Berdasarkan kebutuhannya Gardu Hubung dibagi menjadi:

- Gardu Hubung untuk 7 buah sel kubikel.
- Gardu Hubung untuk (7 + 7) buah sel kubikel.
- Gardu Hubung untuk (7 + 7 + 7 + 7) buah sel kubikel.

Penggunaan kelompok – kelompok sel tersebut bergantung atas sistem yang digunakan pada suatu daerah operasional, misalnya Spindel, Spotload, Fork, Bunga, dan lain – lain. Spesifikasi teknis sel – sel kubikel Gardu Hubung sama dengan spesifikasi teknis Gardu Distribusi, kecuali kemungkinan kemampuan Arus Nominalnya yang bisa berbeda.

2.1.5 Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR)

PHB-TR adalah kombinasi dari satu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah yang dilengkapi dengan peralatan kontrol, pengukuran, proteksi, dan kendali yang saling terhubung. Seluruh komponen ini dirakit secara lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanisme pendukungnya.

Menurut SPLN 118-3-1-1996, PHB-TR untuk pemasangan dalam menggunakan jenis terbuka, yang biasanya diterapkan pada gardu distribusi beton. PHB terbuka adalah susunan peralatan proteksi dan hubung bagi yang dipasang pada penyangga tanpa isolasi pada bagian bertegangan. Setiap transformator atau gardu distribusi dapat memiliki maksimal delapan jurusan, disesuaikan dengan kapasitas daya transformator dan Kemampuan Hantar Arus (KHA) dari penghantar

JTR yang digunakan. PHB-TR juga harus menyertakan diagram satu garis, arus nominal peralatan proteksi dan kendali, serta penamaan setiap jurusan JTR.



Gambar 2. 9. Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR)

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Sebagai sakelar utama pada saluran masuk PHB-TR, digunakan Pemutus Beban (LBS) atau NFB (No Fused Breaker).

Perlindungan terhadap arus lebih (Over Current) pada jurusan sisi Tegangan Rendah PHB-TR dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. No Fused Breaker (NFB)

No Fused Breaker adalah pemutus arus yang dilengkapi sensor arus. Jika arus yang melewati alat melebihi kapasitas yang diperbolehkan, sistem magnetik dan bimetalik di dalamnya akan bekerja untuk memerintahkan breaker memutuskan beban.

2. Pengaman Lebur (Sekering)

Pengaman lebur merupakan alat pemutus arus yang bekerja dengan cara melelehkan bagian komponennya yang telah dirancang sesuai ukuran tertentu, sehingga rangkaian tempat sekering dipasang akan

terbuka dan aliran arus berhenti jika arus melebihi batas tertentu dalam jangka waktu yang telah ditentukan (SPLN 64:1985:1).

Fungsi pengaman lebur dalam rangkaian listrik adalah melindungi rangkaian dan peralatan yang tersambung dari kerusakan, dengan cara bekerja sesuai nilai arus pengenal yang telah ditetapkan (SPLN 64:1985:24).

Tabel 2. 1. Spesifikasi Teknis PHB-TR

No	Uraian	Spesifikasi
1	Arus pengenal saklar	Sekurang-kurangnya 115% I_N transformator distribusi
2	KHA rel PHB	Sekurang-kurangnya 125% arus pengenal saklar pemisah
3	Arus pengenal pengaman lebur	Tidak melebihi KHA penghantar sirkit keluar
4	Short breaking current (rms)	Fungsi dan kapasitas transformator dan tegangan impedansinya
5	Short making current (peak)	Tidak melebihi 2,5 x short breaking current
6	Impulse voltage	20kV
7	Indeks proteksi – IP (internasional Protection) untuk PHB pasang luar	Disesuaikan dengan kebutuhan, namun sekurang-kurangnya IP-45

I_N = I nominal sisi sekunder transformator

Sumber: SPLN 64:1985

Komponen Penel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR)

Komponen-komponen yang terdapat pada Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah meliputi:

1. Saklar Utama (Load Breaker Switch)

Saklar utama berfungsi sebagai pemutus arus pada suatu rangkaian listrik.

Pada PHB-TR, saklar ini digunakan untuk menghubungkan atau memutus

aliran tegangan dari transformator (220/380 V) ke berbagai komponen listrik di dalam panel dan selanjutnya ke konsumen. Pengoperasiannya dapat dilakukan dengan dua cara, yakni melalui gerakan tarik-dorong atau dengan memutar ke kanan dan kiri.



Gambar 2. 10. Saklar Utama
Sumber: Dokumentasi Pribadi

2. Nieder Spannung Horc Liestung Fuse (NH Fuse)

Berdasarkan Buku PLN 1 (2010), NH fuse adalah komponen pengaman yang berfungsi melindungi rangkaian dari arus berlebih dan hubung singkat. Secara umum, fungsinya mirip dengan fuse lainnya, tetapi memiliki kapasitas beban yang lebih besar. NH fuse biasanya digunakan untuk proteksi pada sistem tegangan menengah atau arus tinggi. Di dalam NH fuse terdapat kawat lebur yang berperan sebagai penghantar arus sekaligus pelindung terhadap arus berlebih dan hubung singkat. Jika arus yang melewati fuse melebihi batas yang ditentukan, kawat lebur akan memanaskan dan meleleh (putus). Saat kawat lebur meleleh, fuse tidak lagi berfungsi dan harus diganti.



Gambar 2. 11. NH Fuse
Sumber: Dokumentasi Pribadi

3. Fuse Rail

Fuse rail merupakan satu kesatuan terminal keluaran arus utama yang juga berfungsi sebagai sistem proteksi pada setiap jurusan. Fuse holder terdiri dari tiga dudukan untuk NH fuse link, di mana fuse link tersebut dapat dilepas atau dipasang kembali dalam kondisi tanpa beban dengan menggunakan alat bantu berupa fuse puller. NH fuse rail berfungsi sebagai media untuk memasang dan melepas NH fuse pada dudukan atau penjepitnya (fuse base). Fuse rail dipasang secara vertikal pada pelat montase di sisi kanan. Pelat montase ini berfungsi sebagai tempat pemasangan rangkaian saklar utama, sistem busbar, dan fuse rail. Ketinggian pemasangannya diatur sedemikian rupa sehingga posisi terminal keluaran fuse rail sejajar dengan terminal masukan pada saklar utama.



Gambar 2. 12. Fuse Rail

Sumber: Dokumentasi Pribadi

4. Busbar Rail

Sistem busbar adalah jalur penghantar arus listrik yang dibuat dari tembaga elektrolit karena sifat konduktifnya yang tinggi. Proses penyambungan dan pemasangannya dilakukan dengan menggunakan mur dan baut, sedangkan pembuatan lubang berulir tidak disarankan. Dalam sistem ini terdapat empat buah busbar kolektor, yaitu tiga untuk fasa dan satu untuk netral.



Gambar 2. 13. Busbar Rail
Sumber: Dokumentasi Pribadi

5. Current Transformer



Gambar 2. 14. Current Transformer
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Current Transformer atau transformator arus merupakan komponen berbentuk toroida, di mana lilitan primernya terdiri dari bushing stem atau satu kabel yang terhubung dengan objek yang akan diukur oleh transformator arus tersebut. Current Transformer (CT) adalah bagian dari sistem instrumentasi pada peralatan listrik.

Fungsi utama Current Transformer adalah mengubah arus besar menjadi arus yang lebih kecil, yang kemudian digunakan untuk keperluan proteksi serta pengukuran (metering) pada rangkaian listrik yang saling terhubung. Selain itu, transformator arus juga berfungsi sebagai pemisah atau isolator antara sisi tegangan yang diukur dengan peralatan ukur yang digunakan. CT termasuk dalam jenis transformator tiga fasa yang dihubungkan secara khusus antara satu dengan lainnya.

6. Sirkuit Bantu PHB-TR

Sirkuit bantu adalah bagian penghantar dalam suatu rangkaian PHB yang berfungsi untuk keperluan pengendalian, pengukuran, pemberian sinyal, pengaturan, dan fungsi lainnya. Adapun jenis-jenis sirkuit bantu terdiri dari:

1. Ampere-meter

Amperemeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik. Umumnya, alat ini digunakan oleh teknisi elektronik dan sering menjadi bagian dari multimeter atau avometer, yang merupakan gabungan dari fungsi amperemeter, voltmeter, dan ohmmeter.

Amperemeter dapat dibentuk dari rangkaian mikroamperemeter dan shunt yang berfungsi mendeteksi arus pada suatu rangkaian. Untuk mengukur arus besar, diperlukan tambahan hambatan shunt. Setiap fasa pada unit masukan sebaiknya dilengkapi dengan satu buah amperemeter yang dihubungkan melalui transformator arus, serta memiliki jarum penunjuk cadangan yang bergerak mengikuti jarum utama.

2. Stop Kontak

Stop kontak yang terdapat pada panel hubung bagi tegangan rendah berfungsi sebagai alat untuk memeriksa ada tidaknya tegangan pada panel tersebut. Dengan adanya stop kontak, teknisi dapat menguji apakah PHB-TR berfungsi dan beroperasi dengan baik.

3. Pengaman Lebur

Fuse, atau pengaman lebur, digunakan sebagai pelindung pada bagian stop kontak, lampu indikator, dan lampu penerangan agar terhindar dari arus listrik yang berlebihan.

4. Lampu Indikator

Berfungsi untuk mendeteksi arus listrik pada busbar RST guna memastikan apakah rangkaian bekerja dengan benar atau tidak.



Gambar 2. 15. Lampu Indikator

Sumber: Dokumentasi Pribadi

2.1.6 Sistem Monitoring

Monitoring system merupakan sistem terintegrasi yang dibuat untuk memantau, mengawasi, dan mengendalikan berbagai proses, perangkat, atau kondisi secara waktu nyata. Sistem ini berfungsi dengan mengumpulkan data, menganalisisnya,

serta memberikan peringatan apabila terjadi penyimpangan atau ketidaksesuaian dari kondisi normal.

Penerapan sistem pemantauan menawarkan berbagai manfaat, di antaranya:

- Meningkatkan efisiensi dan produktivitas: Dengan pemantauan kinerja sistem secara real-time, potensi masalah dapat terdeteksi dan ditangani lebih cepat, sehingga mengurangi waktu henti dan meningkatkan efektivitas operasional.
- Mengurangi biaya: Sistem pemantauan membantu mendeteksi serta mencegah kerusakan atau kegagalan sistem, sehingga dapat menekan biaya perawatan dan perbaikan.
- Meningkatkan keamanan: Sistem pemantauan berperan dalam mendeteksi aktivitas mencurigakan maupun potensi ancaman, sehingga mampu meningkatkan keamanan sistem dan perlindungan data.
- Meningkatkan pengambilan keputusan: Data yang dikumpulkan oleh sistem pemantauan dapat dianalisis untuk menemukan tren dan pola, sehingga mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih tepat.

2.1.7 Internet of Things (IoT)

IoT (*Internet of Things*) merupakan istilah yang merujuk pada suatu jaringan yang menghubungkan objek-objek fisik ke internet. Jaringan ini memungkinkan objek-objek tersebut untuk saling berkomunikasi dan bertukar data tanpa perlu campur tangan manusia. Objek-objek fisik ini dapat berupa berbagai perangkat elektronik, seperti sensor, kamera, lampu, mesin, dan peralatan lainnya yang terkoneksi melalui jaringan internet. Dengan adanya koneksi ini, objek-objek tersebut dapat saling berkomunikasi dan bertukar informasi untuk kemudian melakukan tindakan berdasarkan data yang diperoleh. Dalam implementasinya, IoT memberikan manfaat berupa pengumpulan data yang lebih akurat, pemantauan yang lebih efisien, serta pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat berdasarkan data yang diperoleh. Ilustrasi IoT dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 16. Internet of Things (IoT)
Sumber: Google

Seperti namanya, *Internet of Things* bergantung pada Internet sebagai konektivitas antara sensor atau perangkat yang akan saling berkomunikasi di cloud. Data dari sensor yang dikirim ke cloud akan diproses oleh software yang akan menentukan action selanjutnya. Action ini bisa berbentuk pengiriman alarm, penyesuaian jadwal, penutupan akses pada alat, atau lainnya.

2.2 Studi Literatur

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Ridwan, Yani Ridal, dan Rosnita Rauf (2024) berjudul “*Analisa Pengaruh Pemeliharaan Preventif pada Penyulang Gasan di PT. PLN (Persero) ULP Pariaman*” membahas pentingnya penerapan pemeliharaan preventif untuk menjaga keandalan dan efisiensi jaringan distribusi listrik. Penelitian ini menggunakan metode literatur, observasi, dan wawancara langsung dengan petugas lapangan untuk memperoleh data terkait pelaksanaan pemeliharaan. Hasilnya menunjukkan bahwa PT. PLN ULP Pariaman menerapkan dua jenis pemeliharaan, yaitu *preventive maintenance* dan *breakdown maintenance*. Pemeliharaan pada jaringan tegangan menengah (JTM) meliputi perawatan kabel penghantar, isolator, dan tiang, sedangkan pada gardu distribusi mencakup pemeliharaan NH-fuse, lightning arrester, dan box panel. Kegiatan tersebut bertujuan mencegah kerusakan akibat gangguan seperti beban lebih, panas berlebih,

atau gangguan eksternal seperti pohon dan layang-layang yang menyentuh kabel. Hasil penelitian menegaskan bahwa pelaksanaan pemeliharaan di PT. PLN ULP Pariaman telah sesuai dengan standar operasional dan teori dasar pemeliharaan sistem distribusi tenaga listrik, sehingga mampu meningkatkan keandalan sistem serta mengurangi risiko kerusakan peralatan.

Penelitian oleh Zahrul Falakh dkk. (2024) membahas rancang bangun alat monitoring arus dan tegangan berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi pengawasan gardu distribusi. Sistem ini menggunakan Arduino Mega sebagai pengendali, sensor PZEM-004t untuk pengukuran arus dan tegangan, serta modul Wi-Fi untuk pengiriman data ke server. Hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD dan website berbasis PHP–MySQL, sehingga dapat dipantau secara real-time. Hasil uji menunjukkan akurasi yang tinggi, dengan rata-rata error tegangan 0,06% dan arus 0,74%, serta kemampuan menyimpan data pengamatan otomatis selama 24 jam. Kelebihan sistem ini terletak pada biaya rendah, kemudahan replikasi, dan monitoring jarak jauh. Namun, penelitian masih terbatas pada satu lokasi uji, dengan antarmuka dan keamanan data yang perlu ditingkatkan. Secara keseluruhan, penelitian ini menjadi referensi penting dalam pengembangan sistem monitoring energi berbasis IoT yang efisien dan aplikatif, serta berpotensi diadaptasi untuk sistem otomatisasi serupa di bidang lain.

Penelitian oleh M. L. Pattiapon, A. Soleman, dan Muhammad Faisal Darmawan (2019) membahas perancangan alat monitoring beban gardu distribusi secara real time untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi tenaga listrik di PT PLN (Persero) Rayon Baguala, Ambon. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kegiatan monitoring beban trafo yang selama ini masih dilakukan secara manual setiap tiga bulan, sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan deteksi terhadap beban lebih (*overload*). Sistem yang dirancang menggunakan sensor arus ACS712 dan sensor tegangan ZMPT101B yang dihubungkan melalui Arduino Mega 2560 sebagai sistem akuisisi data. Hasil pengukuran arus dan tegangan dikirim ke komputer dan divisualisasikan menggunakan Graphical User Interface (GUI) MATLAB yang menampilkan nilai arus, tegangan, daya, dan persentase beban gardu setiap satu jam. Pengujian alat

dilakukan pada Gardu BGLWHR2008 di Rayon Baguala selama enam jam, dari pukul 17.00 hingga 23.00, dan menunjukkan bahwa sistem mampu memantau perubahan beban gardu secara kontinu. Hasilnya, beban puncak terjadi pada pukul 19.00 – 21.00 dengan persentase beban sebesar 55,9 %, yang masih tergolong normal menurut standar SPLN 1:1995. Penelitian ini membuktikan bahwa alat yang dirancang mampu bekerja secara real time dan hasil pengukurannya mendekati hasil pengukuran manual. Inovasi ini memberikan solusi yang efisien untuk pemantauan beban gardu distribusi, mengurangi potensi kesalahan manusia, serta membantu PLN dalam menjaga kestabilan dan keandalan jaringan distribusi tenaga listrik.

Penelitian yang dilakukan oleh Ananda Putra Suwarno, Syamsudduha Syahririni, dan Jamaaludin (2024) membahas pengembangan sistem pengaduan hilang fasa pada Panel Hubung Tegangan Rendah (PHBTR) di kantor PLN Pandaan berbasis Internet of Things (IoT) untuk mempercepat penanganan gangguan distribusi listrik. Sistem ini dirancang untuk mengirimkan notifikasi otomatis ke smartphone petugas PLN melalui aplikasi Telegram ketika terjadi gangguan tegangan, sehingga petugas dapat segera melakukan tindakan tanpa menunggu laporan dari masyarakat. Komponen utama sistem terdiri dari mikrokontroler NodeMCU ESP32, sensor PZEM-004T untuk mendeteksi arus dan tegangan, modul GPS U-Block Neo 6m untuk menentukan lokasi panel, serta LCD I2C 20x4 untuk menampilkan data pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik dan memberikan hasil pengukuran yang akurat, dengan tingkat selisih rata-rata hanya 0,28% untuk tegangan dibandingkan alat ukur *Clamp Meter* merk Winner DT-266. Pengiriman data melalui Telegram juga berlangsung cepat, dengan delay waktu 1,54 detik, menunjukkan efisiensi komunikasi data sistem berbasis IoT. Selain itu, sistem dapat menampilkan informasi lokasi panel yang mengalami gangguan secara real time, sehingga mempercepat proses identifikasi dan penanganan di lapangan. Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan IoT dalam sistem pengaduan gangguan kelistrikan dapat meningkatkan kecepatan respons, akurasi informasi, dan efisiensi operasional

PLN, sekaligus mengurangi ketergantungan pada sistem pengaduan manual berbasis SMS.