

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Penelitian terkait pembangunan gardu induk dan dampaknya terhadap sistem kelistrikan telah banyak dilakukan baik di tingkat nasional maupun internasional. Kajian ini menjadi penting karena pembangunan gardu induk tidak hanya berhubungan dengan pemenuhan kebutuhan energi listrik, tetapi juga menyangkut efisiensi penyaluran energi, keandalan sistem distribusi, serta kelayakan finansial suatu investasi.

Gusfi, Athariq dan Damiri, Dhami Johar (2024) melakukan penelitian Analisis pembangunan Gardu Induk Natal dan rekonfigurasi jaringan memberikan peningkatan signifikan pada profil tegangan dan penurunan rugi-rugi daya sistem distribusi. Tegangan pada Desa Batahan meningkat dari 14,46 kV menjadi 19,41 kV, di Kota Natal dari 14,94 kV menjadi 20,23 kV, di Desa Batumundom dari 13,13 kV menjadi 17,85 kV, serta di Desa Muarasoma dari 17,01 kV menjadi 20,8 kV, sehingga mendekati atau memenuhi standar tegangan operasional PLN. Selain itu, rugi-rugi daya aktif sistem berhasil diturunkan dari 1.405,6 kW menjadi 552,6 kW, sedangkan rugi-rugi daya reaktif berkurang dari 2.891,8 kVAr menjadi 1.016,3 kVAr. Penurunan rugi-rugi daya tersebut mencerminkan peningkatan efisiensi penyaluran energi listrik yang signifikan setelah pembangunan gardu induk dan rekonfigurasi jaringan dilakukan.

Dewi, Sintia dan Darmana, Tasdik (2022) melakukan penelitian analisa perbandingan existing, pemasangan gardu induk, dan simulasi berbasis aplikasi ETAP 16.0.0 untuk memperbaiki nilai tegangan jaringan distribusi 20kv pada PT. PLN persero UP3 Kendari ULP Bombana bahwa kebijakan nasional di bidang ketenagalistrikan, sebagaimana tertuang dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) dan program dedieselisasi PLN, mendorong dilakukannya penggantian pembangkit diesel dengan infrastruktur gardu induk untuk meningkatkan kinerja sistem distribusi. Studi yang dilakukan pada sistem kelistrikan PT PLN (Persero) ULP Bombana UP3 Kendari UIW Sulselrabar menunjukkan bahwa rekonfigurasi sistem dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) menjadi Gardu Induk (GI) memberikan dampak positif terhadap

profil tegangan ujung penyulang. Melalui simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 16.0.0, diperoleh hasil bahwa tegangan keluaran GI mencapai sekitar 19,88 kV, yang mendekati tegangan nominal sistem distribusi 20 kV sesuai standar SPLN T6.001:2013. Rekonfigurasi jaringan tersebut terbukti mampu meningkatkan kualitas tegangan pada seluruh penyulang tanpa memerlukan pemasangan kapasitor tambahan, sehingga menunjukkan efektivitas pembangunan gardu induk sebagai solusi teknis dalam perbaikan kualitas penyaluran energi listrik.

Penelitian (Lamro Sinar dan christiono christiono, 2025) pada Penyulang Wonotirto di Kabupaten Blitar menganalisis upaya peningkatan keandalan sistem distribusi 20 kV melalui metode rekonfigurasi jaringan dengan pendekatan pemecahan beban menggunakan simulasi ETAP. Permasalahan utama berupa panjang jaringan dan tingginya frekuensi gangguan yang berdampak pada penurunan kualitas tegangan dan keandalan sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rekonfigurasi mampu meningkatkan tegangan ujung dari 18,9 kV menjadi 19,6 kV serta meningkatkan tingkat keandalan hingga dua kali lipat, sehingga metode tersebut dinilai efektif dalam memperbaiki kinerja jaringan distribusi pada wilayah dengan karakteristik beban yang berkembang.

Penelitian Marantika, Putu Gede Yana dan Pasra, Nurmiati (2024) menunjukkan bahwa penambahan kapasitas dan pemecahan penyulang pada sistem distribusi berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja teknis dan keandalan sistem. Studi yang dilakukan pada Gardu Induk Karangnunggal menganalisis dampak pemecahan penyulang setelah penambahan transformator daya dan penyulang baru, dengan menggunakan pendekatan kuantitatif serta simulasi aliran daya melalui perangkat lunak ETAP 19.0. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbaikan profil tegangan pada kedua penyulang yang ditinjau, ditandai dengan kenaikan rata-rata tegangan masing-masing sebesar 0,67% dan 0,45% dari tegangan nominal 20 kV. Selain itu, terjadi penurunan susut teknis penghantar secara signifikan, disertai dengan perbaikan indikator keandalan sistem berupa penurunan nilai SAIDI dan SAIFI lebih dari 50% pada masing-masing penyulang. Dampak lanjutan dari pemecahan penyulang tersebut juga ditunjukkan oleh berkurangnya energi tidak terjual (*Energy Not Supplied/ENS*), yang mengindikasikan peningkatan kontinuitas pelayanan dan efisiensi operasional sistem distribusi. Temuan ini

menegaskan bahwa pengembangan infrastruktur distribusi melalui penambahan dan rekonfigurasi penyulang merupakan strategi yang efektif dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem kelistrikan.

Penelitian (Nur Intan Syafitri & christiono, 2023) menunjukkan bahwa rugi-rugi daya dan penurunan tegangan pada jaringan distribusi umumnya disebabkan oleh panjang penyulang yang berlebih dan pembebanan yang tinggi, sehingga diperlukan upaya perbaikan melalui metode pecah beban. Studi pada penyulang Sungai Deras menunjukkan bahwa sebelum dilakukan pemecahan beban, rugi-rugi daya mencapai 14,12% berdasarkan simulasi ETAP 12.6, dengan penurunan tegangan hingga sekitar 29,06% dari tegangan nominal. Setelah dilakukan pecah beban, kinerja sistem mengalami perbaikan yang ditunjukkan oleh penurunan rugi-rugi daya menjadi sekitar 4,7% serta peningkatan profil tegangan hingga mendekati standar operasional. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa metode pecah beban efektif dalam meningkatkan efisiensi penyaluran energi dan memperbaiki kualitas tegangan pada jaringan distribusi.

Penelitian Fauzi Rachmat, Aziz & Husada, Hendrianto (2023) menunjukkan bahwa tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik dapat dievaluasi melalui parameter SAIDI, SAIFI, dan Energy Not Sale (ENS). Studi pada sistem distribusi di wilayah pelayanan ULP Tanjung Pandan yang menyuplai kawasan strategis, termasuk Kawasan Ekonomi Khusus Tanjung Kelayang, menunjukkan bahwa gangguan sistem dalam satu tahun menyebabkan ENS sebesar 439.485 kWh atau setara dengan Rp634.923.980, dengan nilai rata-rata SAIDI 9,095 menit/pelanggan dan SAIFI 0,495 kali/pelanggan. Upaya peningkatan keandalan dilakukan melalui penambahan express feeder dan pemecahan beban yang dianalisis menggunakan simulasi aliran daya pada perangkat lunak ETAP. Hasil simulasi menunjukkan perbaikan kinerja sistem yang signifikan, ditandai dengan penurunan ENS menjadi 156.020 kWh (Rp225.413.652), serta penurunan SAIDI menjadi 2,875 menit/pelanggan dan SAIFI menjadi 0,158 kali/pelanggan. Temuan ini menunjukkan bahwa penguatan infrastruktur jaringan efektif dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Penelitian Fahrhan, La Ode Muhammad Ryan Ranus dan Sari, Dewi Purnama (2022) menunjukkan bahwa kualitas dan efisiensi penyaluran tenaga listrik pada jaringan distribusi 20 kV sangat dipengaruhi oleh besarnya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya,

yang secara langsung berdampak pada tingkat keandalan sistem dan kesesuaiannya terhadap standar SPLN. Studi yang dilakukan pada jaringan distribusi 20 kV di Gardu Induk Teluk Naga menggunakan simulasi perangkat lunak DIGSILENT menganalisis efektivitas rekonfigurasi jaringan melalui pemindahan beban antar penyulang dengan memanfaatkan Load Break Switch (LBS). Hasil simulasi menunjukkan bahwa beberapa skema rekonfigurasi mampu menurunkan jatuh tegangan hingga kisaran 1,5–2% serta menekan rugi-rugi daya pada tingkat di bawah batas standar SPLN, meskipun pada konfigurasi tertentu rugi-rugi daya meningkat hingga melebihi ambang batas. Temuan ini menegaskan bahwa rekonfigurasi jaringan merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan kualitas tegangan dan efisiensi sistem distribusi, namun perlu dilakukan dengan perencanaan yang tepat agar hasilnya tetap memenuhi kriteria teknis yang dipersyaratkan.

Penelitian Arifianto, Septian Feter dan Pramono, Tri Joko (2024) menunjukkan bahwa susut teknis pada jaringan distribusi listrik merupakan faktor utama yang memengaruhi efisiensi operasional PT PLN (Persero), terutama pada wilayah dengan jarak penyaluran yang relatif panjang dan pembebanan jaringan yang belum optimal. Studi yang dilakukan pada ULP Ahmad Yani mengidentifikasi bahwa dari total penyaluran energi listrik bulanan sebesar 43.312 MWh, energi yang berhasil terjual hanya mencapai 40.078 MWh (92,5%), sedangkan sisanya sebesar 3.234 MWh merupakan susut teknis yang menimbulkan kerugian finansial hingga Rp4,80 miliar. Upaya perbaikan dilakukan melalui metode pemecahan beban penyulang pada jaringan distribusi 20 kV dengan bantuan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6 untuk mengidentifikasi titik dominan penyebab susut teknis. Hasil implementasi metode tersebut menunjukkan penurunan susut teknis sebesar 161.964 kWh atau setara dengan 4,87%, serta menghasilkan penghematan biaya operasional sebesar Rp233.876.016,-, yang menegaskan bahwa optimasi konfigurasi jaringan distribusi efektif dalam meningkatkan efisiensi penyaluran energi listrik.

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, terlihat bahwa studi mengenai pembangunan gardu induk memiliki keterkaitan erat dengan aspek teknis dan finansial. Penelitian ini akan melanjutkan kajian terdahulu dengan fokus pada Gardu Induk Tamiang Layang di Kabupaten Barito Timur. Dengan demikian, penelitian ini memiliki

kebaruan karena mengintegrasikan analisis teknis menggunakan simulasi PSS Sincal 21.0 dan analisis finansial dengan analisis finansial operasional.

2.2 Landasan Teori

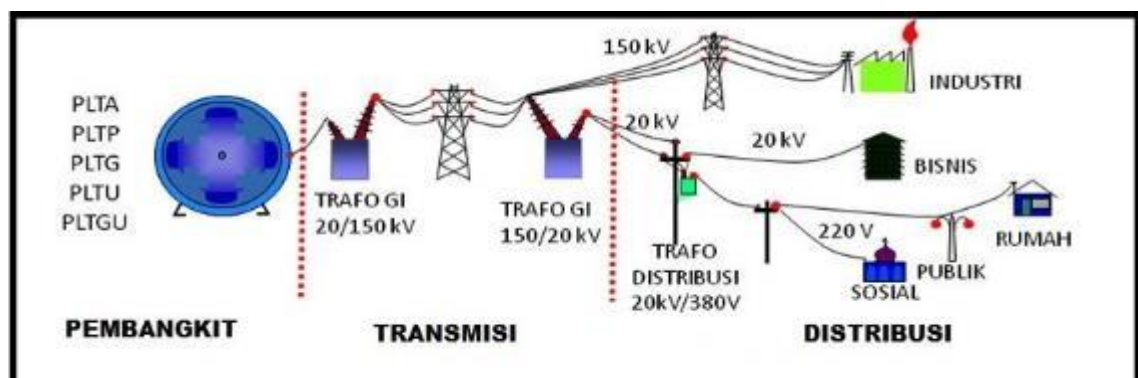
2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang saling terhubung oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga menjadi satu kesatuan yang terintegrasi. Tujuannya adalah untuk membangkitkan, mentransmisikan, dan mendistribusikan energi listrik secara efisien, andal, dan ekonomis dari sumber ke pusat-pusat beban atau konsumen.

Secara garis besar, sistem tenaga listrik terbagi menjadi tiga sub-sistem utama yang saling berurutan, yaitu:

1. Sistem Pembangkitan (*Generation*): Bertugas membangkitkan energi listrik dari berbagai sumber energi primer.
2. Sistem Transmisi (*Transmission*): Bertugas menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban (gardu induk) dalam jarak yang jauh dengan tegangan tinggi.
3. Sistem Distribusi (*Distribution*): Bertugas menyalurkan atau membagikan energi listrik dari gardu induk ke konsumen akhir pada tingkat tegangan yang lebih rendah.

Hubungan antara ketiga sub-sistem tersebut dapat diilustrasikan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 1 Sistem tenaga listrik

2.2.2 Transmisi

Sistem transmisi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan daya listrik dalam jumlah besar dari pusat pembangkitan menuju pusat-pusat beban atau gardu induk distribusi dengan tingkat keandalan dan efisiensi yang tinggi. Secara umum, sistem transmisi diklasifikasikan berdasarkan tingkat tegangan, yaitu transmisi tegangan tinggi (≥ 70 kV), tegangan ekstra tinggi (≥ 150 kV), dan tegangan ultra tinggi (≥ 500 kV). Pemilihan tingkat tegangan transmisi mempertimbangkan kapasitas daya yang disalurkan, jarak penyaluran, serta aspek keandalan dan efisiensi sistem.

Penggunaan tegangan tinggi pada sistem transmisi didasarkan pada prinsip bahwa kenaikan level tegangan akan menurunkan arus listrik, sehingga rugi-rugi daya yang bersifat kuadrat terhadap arus dapat ditekan secara signifikan. Rugi-rugi daya pada saluran transmisi secara matematis dinyatakan sebagai rugi tembaga (I^2R losses), sehingga semakin kecil arus yang mengalir, semakin kecil pula energi yang hilang selama proses penyaluran. Selain berfungsi sebagai media penyaluran daya, sistem transmisi juga memiliki peran strategis dalam menjaga stabilitas sistem tenaga secara keseluruhan, baik dari sisi kestabilan tegangan maupun kestabilan sudut rotor pembangkit. Konfigurasi dan panjang jaringan transmisi sangat berpengaruh terhadap profil tegangan, aliran daya (*power flow*), serta tingkat keandalan sistem, terutama pada daerah dengan jarak suplai yang jauh dari pusat pembangkitan atau gardu induk utama.

Konstruksi jaringan transmisi tenaga listrik merupakan bagian penting dalam sistem penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit menuju gardu induk secara andal dan efisien. Jaringan transmisi umumnya terdiri dari konduktor, menara transmisi, isolator, sistem pentanahan, serta perlengkapan proteksi dan pengaman. Perancangan konstruksi harus mempertimbangkan kapasitas daya, tingkat tegangan, kondisi lingkungan, serta aspek keselamatan dan keandalan operasi. Selain itu, pemilihan jalur transmisi juga memperhatikan faktor teknis dan ekonomis untuk meminimalkan rugi-rugi daya dan gangguan. Dengan konstruksi yang tepat dan sesuai standar, jaringan transmisi mampu menjaga kualitas tegangan, kontinuitas pelayanan, serta mendukung stabilitas sistem tenaga listrik secara keseluruhan.



Gambar 2. 2 Jaringan Transmisi

Saluran transmisi, tersusun atas beberapa komponen utama yang saling mendukung, antara lain:

1. Menara Transmisi (Tower): Struktur penopang yang berfungsi untuk menjaga jarak aman konduktor dari permukaan tanah dan objek lain. Menara harus didesain kuat secara mekanis dan elektris, serta dilengkapi dengan sistem pentanahan (*grounding*) yang baik .
2. Konduktor Fasa: Penghantar listrik yang mengalirkan daya. Jenis konduktor yang umum digunakan adalah TACSR (*Thermal Resistant Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced*) yang memiliki ketahanan panas dan kekuatan tarik tinggi .
3. Kawat Tanah (*Ground Wire* atau *Shield Wire*): Kawat yang dipasang di puncak menara berfungsi sebagai perisai untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir langsung. Kawat tanah akan menangkap sambaran dan mengalirkannya ke tanah melalui sistem pentanahan menara .
4. Isolator: Komponen yang memisahkan secara elektris konduktor fasa yang bertegangan dari menara yang ditanahkan. Material isolator harus memiliki kekuatan dielektrik tinggi, yang dinyatakan dalam *Basic Insulation Level* (BIL) . BIL adalah tingkat tegangan impuls yang mampu ditahan oleh isolator tanpa mengalami

kegagalan isolasi. Material isolator berfungsi sebagai komponen kunci dalam memisahkan secara elektris dua atau lebih penghantar tegangan sehingga tidak menimbulkan arus bocor atau lompatan api. (Christiono dkk., 2024). Kegagalan isolator berdampak langsung pada terganggunya distribusi listrik seperti pemadaman, kebakaran, atau sengatan listrik yang mengakibatkan kerugian materi maupun korban jiwa. Oleh karena itu, pemilihan material isolator yang tepat, termasuk pemahaman terhadap karakteristik dielektrik, mekanik, serta pengaruh lingkungan operasi, menjadi aspek krusial dalam perencanaan infrastruktur kelistrikan yang andal dan efisien. Material isolator polimer, khususnya *silicone rubber*, saat ini banyak dikembangkan untuk aplikasi gardu induk dan jaringan transmisi karena memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan isolator keramik maupun kaca. Keunggulan tersebut antara lain sifatnya yang ringan sehingga memudahkan penanganan dan instalasi, desain geometri yang sederhana, serta ketahanan terhadap polusi karena material polimer memiliki karakteristik hidrofobik yang baik (Fikri dkk., 2024)

5. Sistem Pentanahan (*Grounding System*): Jaringan elektroda yang ditanam di tanah di sekitar kaki menara. Fungsinya adalah untuk mengalirkan arus gangguan (seperti arus petir atau arus hubung singkat) ke tanah dengan aman, sehingga membatasi kenaikan tegangan pada menara dan melindungi peralatan

2.2.3 Gardu Induk

Gardu Induk (GI) merupakan fasilitas penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai titik simpul untuk transformasi tegangan, pengukuran, proteksi, dan manuver beban. Gardu induk memiliki peran vital dalam menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik, stabilitas sistem, serta perlindungan jaringan. Pembangunan gardu induk baru di suatu wilayah biasanya dipertimbangkan berdasarkan empat faktor utama: pertumbuhan beban, profil tegangan, tingkat rugi-rugi daya, dan keandalan sistem. Tanpa kehadiran gardu induk di suatu pusat beban, energi listrik harus disalurkan melalui jaringan tegangan menengah (distribusi primer) yang sangat panjang dari gardu induk terdekat.



Gambar 2. 3 Gardu Induk

Secara operasional, Gardu Induk memiliki beberapa fungsi utama yang krusial bagi sistem tenaga listrik:

1. Transformasi Tegangan: Fungsi paling mendasar dari GI distribusi adalah menurunkan (*step-down*) level tegangan dari sistem transmisi (Tegangan Tinggi/TET) ke level tegangan sistem distribusi primer (Tegangan Menengah). Contohnya, menurunkan tegangan dari 150 kV menjadi 20 kV menggunakan transformator daya.
2. Pengaturan Tegangan: Gardu Induk berperan penting dalam menjaga kualitas tegangan agar tetap berada dalam batas yang diizinkan oleh standar (misalnya SPLN No. 72 Tahun 1987 yang mengatur batas tegangan +5% dan -10%). Fungsi ini biasanya dilakukan oleh *On-Load Tap Changer* (OLTC) yang terpasang pada transformator daya, yang dapat mengubah rasio belitan trafo secara otomatis sesuai dengan kondisi beban.
3. Pusat Manuver dan Distribusi Beban: GI berfungsi sebagai titik awal dari beberapa penyulang (*feeder*) 20 kV yang akan mendistribusikan listrik ke berbagai wilayah. Dari sini, operator dapat melakukan manuver beban, yaitu memindahkan suplai beban dari satu penyulang ke penyulang lain atau mengisolasi bagian jaringan yang mengalami gangguan.

4. Proteksi Sistem: Gardu Induk dilengkapi dengan berbagai peralatan proteksi (seperti relai, pemutus tenaga) yang bekerja secara otomatis untuk mendeteksi dan mengisolasi gangguan (misalnya hubung singkat) secepat mungkin. Tujuannya adalah untuk meminimalisir kerusakan peralatan dan memperkecil area pemadaman.
5. Pusat Pengukuran dan Pengawasan: GI merupakan pusat pengumpulan data operasional sistem. Berbagai parameter penting seperti tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan frekuensi diukur dan dimonitor secara *real-time* dari ruang kontrol GI atau bahkan dari pusat kontrol jarak jauh (SCADA).

Gardu induk memiliki beberapa komponen yang bekerja saling mendukung satu sama lain sebagai berikut :

1. Transformator Daya (*Power Transformer*), Transformator berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik, dengan merubah besarnya tegangan sedangkan frekuensinya tetap. Transformator daya dilengkapi dengan trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari trafo daya. Peralatan ini disebut *Neutral Current Transformer* (NCT), perlengkapan lainnya adalah pentanahan trafo yang disebut, *Neutral Grounding Resistance* (NGR).



Gambar 2. 4 Transformator Daya

2. *Circuit Breaker* (PMT) , *Circuit breaker* adalah peralatan pemutus, yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban. *Circuit breaker* (CB) dapat dioperasikan pada saat jaringan dalam kondisi normal maupun pada saat terjadi gangguan. Kerena pada saat bekerja, CB mengeluarkan (menyebabkan timbulnya) busur api, maka pada CB dilengkapi dengan pemadam busur api. Pemadam busur api dapat berupa minyak (*Oil Circuit Breaker* / OCB), Udara (*Air Circuit Breaker* / ACB) atau gas (*Gas Circuit Breaker* / GCB)



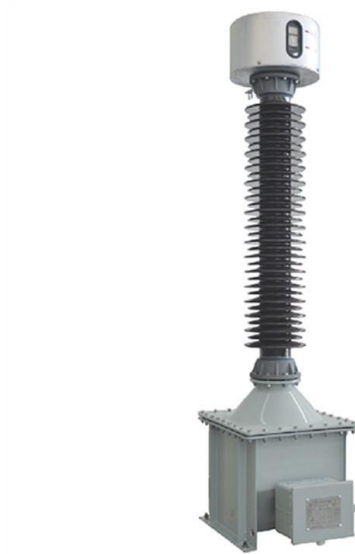
Gambar 2. 5 Circuit Breaker

3. *Current Transformer* (CT) , berfungsi untuk merubah besaran arus, dari arus yang besar ke arus yang kecil. Atau memperkecil besaran arus listrik pada system tenaga listrik, menjadi arus untuk system pengukuran dan proteksi.



Gambar 2. 6 Current Transformer

4. *Voltage Transformer* (VT) , berfungsi untuk merubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan listrik pada system tenaga listrik, menjadi besaran tegangan untuk pengukuran dan proteksi.



Gambar 2. 7 Voltage Transformer

5. Pemisah (PMS), berfungsi untuk memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban. Kerena DS hanya dapat dioperasikan pada saat kondisi tdak berbeban, maka yang harus dioperasikan terlebih dahulu adalah CB. Setelah rangkaian diputus oleh CB, baru DS dioperasikan.



Gambar 2. 8 Pemisah

6. Busbar , Rel busbar berfungsi sebagai titik pertemuan/hubungan antara transformator daya, SUTT, SKTT serta komponen listrik lainnya yang ada pada switch yard.



Gambar 2. 9 Busbar

7. Kubikel 20 kV adalah komponen utama di sisi sekunder Gardu Induk yang berfungsi sebagai pusat kendali, penghubung, dan pelindung jaringan distribusi primer. Kubikel terdiri dari beberapa kompartemen utama, yaitu busbar, pemutus tenaga (PMT), trafo arus (CT), trafo tegangan (PT), dan relai proteksi.



Gambar 2. 10 Kubikel GI 20 kV

Keandalan sistem kelistrikan tidak hanya ditentukan oleh kualitas material, tetapi juga oleh kemampuan sistem dalam mendeteksi dini potensi gangguan. (Christiono dkk., 2026) melakukan studi komparatif antara *Hidden Markov Model* (HMM) dan *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dalam mendeteksi *corona discharge* pada kubikel 20 kV berdasarkan sinyal akustik. *Corona discharge* merupakan gangguan umum yang dapat menyebabkan degradasi isolasi, rugi-rugi daya, dan potensi kegagalan peralatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BPNN memberikan akurasi yang kompetitif dan kemampuan adaptasi yang lebih baik untuk deteksi dini *corona discharge*, sehingga dapat diimplementasikan dalam sistem monitoring cerdas untuk meningkatkan penilaian kondisi isolasi.

8. Sistem Proteksi dan Kendali , berfungsi untuk mengetahui kondisi gardu induk dan merupakan pusat kendali local gardu induk. Didalamnya berisi saklar, indicator-indikator, meter-meter, tombol-tombol komando operasional PMT, PMS dan alat ukur besaran listrik, serta *annunciator*. Panel kendali berada satu ruangan dengan tempat oprator kerja. Panel proteksi (*protection panel/relay panel*) berfungsi untuk memproteksi (melindungi system jaringan gardu induk) pada saat terjadi gangguan maupun karena kesalahan operasi. Di dalam panel proteksi berisi peralatan-peralatan elektro dan elektronik, dan lain-lain yang bersifat presisi. Setiap relay yang terpasang dan panel proteksi, diberi nama relay sesuai fungsinya.

Tabel 2. 1 Komponen utama gardu induk dan fungsinya

No	Komponen	Fungsi	Keterangan
1	<i>Power Transformer</i>	Menurunkan tegangan	Inti dari GI, kapasitas disesuaikan dengan kebutuhan beban
2	<i>Circuit Breaker</i> (PMT)	Memutuskan arus gangguan	Beroperasi otomatis saat terjadi gangguan
3	<i>Current Transformer</i> (CT)	Mengukur arus	Untuk pengukuran dan input proteksi
4	<i>Voltage Transformer</i> (VT)	Mengukur tegangan	Untuk pengukuran dan input proteksi
5	Pemisah (PMS)	Memisahkan bagian sistem yang tidak bertegangan	Untuk pemeliharaan dan isolasi
6	Busbar	Media penghubung antar komponen	Saluran utama di dalam GI
7	Sistem Proteksi dan Kendali	Mengendalikan dan memproteksi seluruh operasi GI	Panel kontrol, relay proteksi

2.2.4 Jaringan Distribusi 20 kV

Jaringan distribusi merupakan bagian akhir dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi dari gardu induk distribusi kepada konsumen. Setiap rangkaian utama yang keluar dari GI disebut sebagai Penyulang atau Feeder. Sebuah Gardu Induk lazimnya memiliki beberapa penyulang yang masing-masing melayani area beban yang berbeda. Panjang dan beban dari setiap penyulang merupakan faktor kritis yang mempengaruhi performa jaringan secara keseluruhan. Dalam jaringan 20 kV ini terdapat 3 jenis saluran yang biasa digunakan yaitu Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) dan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM).

2.2.4.1 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

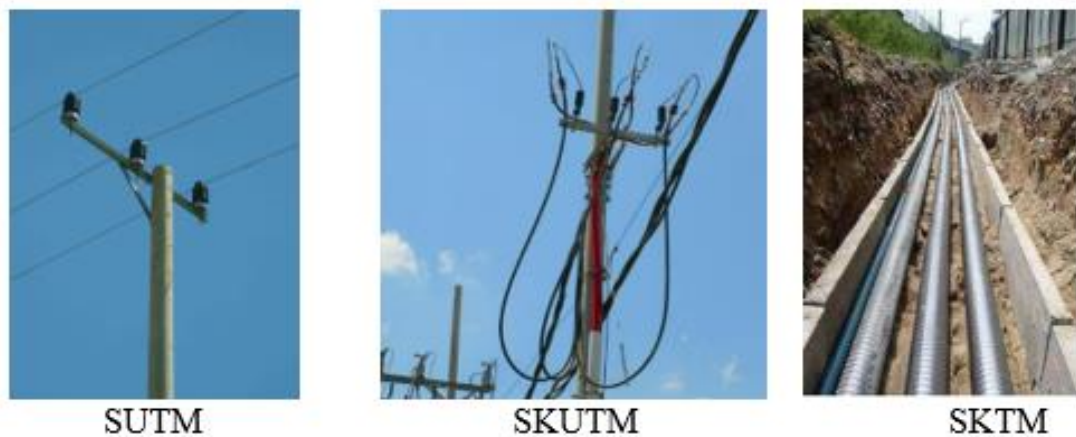
Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah saluran distribusi listrik 20 kV yang menggunakan konduktor tanpa isolasi maupun konduktor berisolasi setengah dipasang di atas tiang melalui isolator. Komponen utama dari SUTM ini antara lain : Konduktor berjenis AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) atau AAAC-S, Isolator sebagai isolasi antara konduktor dengan tiang berjenis isolator tumpu dan isolator tarik, Tiang yang berjenis Besi atau Beton dan Cross arm sebagai tumpuan isolator.

2.2.4.2 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) adalah saluran 20 kV yang menggunakan kabel berisolasi (biasanya XLPE atau PVC) dipasang di atas tiang. Konstruksi ini lebih handal karena berisolasi penuh 20 kV dan tahan terhadap sentuhan langsung terhadap pohon maupun bangunan.

2.2.4.3 Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

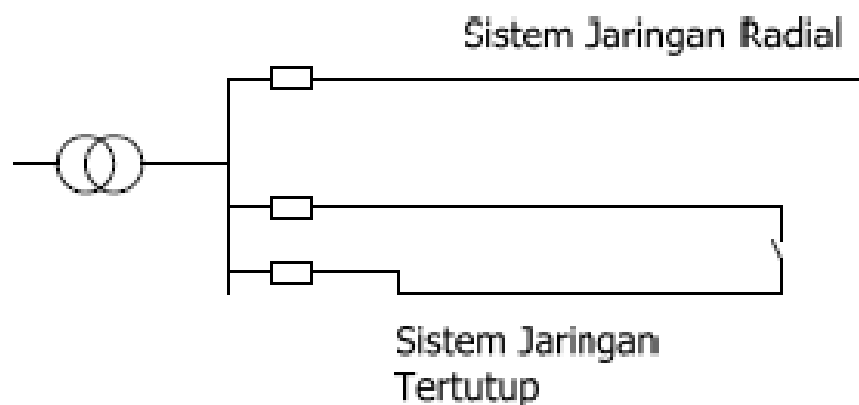
Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) adalah saluran distribusi 20 kV yang dipasang bawah tanah menggunakan kabel berinsulasi XLPE. Konstruksi SKTM ini lebih aman dan handal dalam sistem distribusi 20 kV, tetapi relatif memiliki biaya pemasangan yang lebih mahal.



Gambar 2. 11 Konstruksi jaringan distribusi 20 kV

Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi :

1. Jaringan Radial yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi “black-out” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.
2. Jaringan bentuk tertutup yaitu jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman (black-out) dapat dikurangi atau bahkan dihindari.



Gambar 2. 12 Konfigurasi jaringan distribusi 20 kV

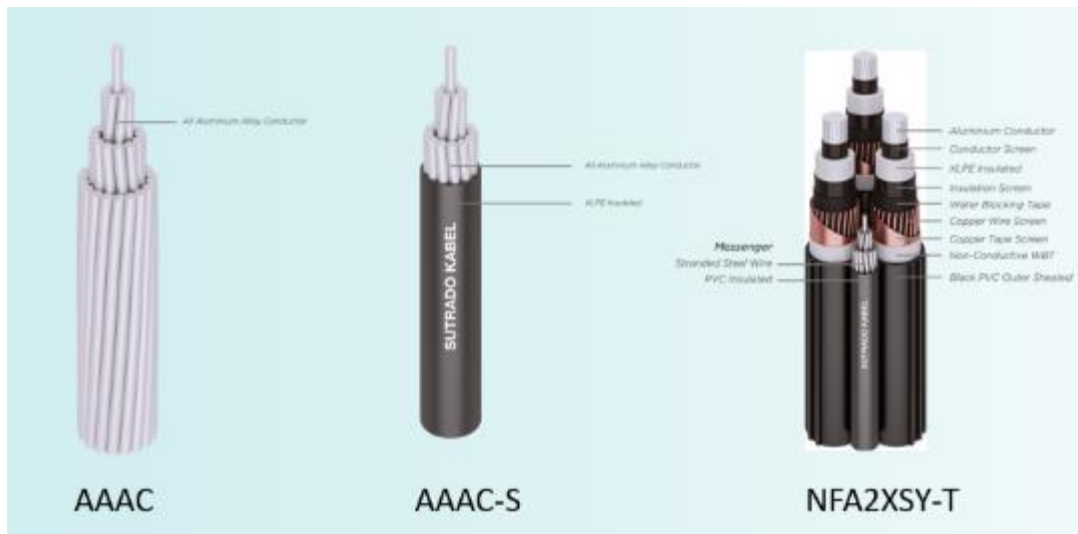
2.2.5 Jenis Konduktor Jaringan Distribusi 20 kV

Konduktor pada jaringan distribusi 20 kV berfungsi sebagai media penghantar listrik utama yang menyalurkan energi dari gardu induk atau penyulang (*feeder*) menuju

ke gardu distribusi dan pelanggan. Secara teknis, konduktor merupakan komponen kritis yang menentukan performa termal, mekanis, dan elektrik suatu jaringan. Pemilihan konduktor tidak hanya didasarkan pada kemampuannya mengalirkan arus, tetapi juga pada pertimbangan jatuh tegangan (*voltage drop*), rugi-rugi daya (*power loss*), serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan. Pada jaringan distribusi 20 kV, konduktor umumnya terbuat dari tembaga (Cu) atau aluminium (Al) dengan konfigurasi *single-core* atau *multi-core*, baik berisolasi maupun tanpa isolasi (*bare conductor*), tergantung pada metode penyaluran yaitu saluran udara (*overhead line*) atau kabel tanah (*underground cable*).

Konduktor pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) memiliki berbagai macam jenis, namun yang umum digunakan adalah Kabel AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) Kabel ini terbuat dari paduan aluminium tanpa inti baja, menawarkan keunggulan dalam hal ketahanan korosi dan efisiensi konduktivitas yang baik. Resistansi konduktor yang menjadi penyumbang utama rugi-rugi I^2R . Pemilihan ukuran konduktor (luas penampang) yang tepat dan material dengan konduktivitas tinggi sangat krusial. Berdasarkan jenis proteksi permukaannya, konduktor pada jaringan 20 kV diklasifikasikan menjadi 3 jenis :

1. Konduktor tanpa isolasi (*Bare Conductor*): Tidak memiliki lapisan isolasi, sehingga faktor keamanan jarak aman (*Right of Way*) sangat krusial. Jenis kabel konduktor tanpa isolasi yaitu AAC dan AAAC
2. Konduktor Berisolasi Setengah (*Half Insulated/Covered Conductor*): Dilapisi dengan lapisan XLPE (*Cross-Linked Polyethylene*) tipis. Lapisan ini berfungsi untuk mencegah gangguan sesaat akibat sentuhan dahan pohon atau binatang, namun tidak dirancang untuk disentuh secara langsung dalam keadaan bertegangan. Jenis konduktor berisolasi setengah yaitu AAAC-S
3. Kabel Udara Tegangan Menengah (*Twisted Cable*): Konduktor yang memiliki isolasi penuh dan dipilin, umumnya digunakan pada area yang padat penduduk atau area dengan ruang bebas yang terbatas. Contoh jenis *medium voltage twisted insulated cable* (MVTIC) yaitu NFA2XSY-T



Gambar 2. 13 Jenis Konduktor Saluran Udara Tegangan Menengah

2.2.6 Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam sebuah rangkaian listrik per satuan waktu. Dalam sistem arus bolak-balik (AC), analisis daya bersifat lebih kompleks dibandingkan arus searah (DC) karena adanya perbedaan fase antara tegangan (V) dan arus (I) yang disebabkan oleh sifat beban pada rangkaian. Secara matematis, daya sesaat merupakan hasil perkalian antara nilai tegangan dan arus pada titik waktu yang sama.

Segitiga daya merupakan representasi grafis yang menggambarkan hubungan ortogonal antara tiga jenis daya dalam sistem arus bolak-balik, yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu. Hubungan ketiga komponen ini membentuk sebuah segitiga siku-siku yang didasarkan pada prinsip trigonometri.

1. Daya Aktif (P)

Daya aktif, atau sering disebut sebagai daya nyata, adalah daya yang sebenarnya dikonsumsi oleh beban untuk dikonversikan menjadi bentuk energi lain, seperti energi panas, gerak, atau cahaya. Daya ini diukur dalam satuan Watt (W). Persamaan untuk menghitung daya aktif pada sistem satu fasa adalah:

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2.1)$$

2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet pada beban induktif (seperti motor listrik dan transformator) atau medan listrik pada beban kapasitif. Daya ini tidak menghasilkan kerja nyata namun tetap mengalir dalam jaringan. Daya reaktif dinyatakan dalam satuan Volt Ampere Reactive (VAR). Persamaannya adalah:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.2)$$

3. Daya Semu (S)

Daya semu merupakan hasil perkalian total antara tegangan efektif dan arus efektif tanpa memperhatikan perbedaan fase. Daya ini merepresentasikan kapasitas total energi yang disalurkan oleh sumber ke beban dan diukur dalam satuan Volt Ampere (VA). Berdasarkan teorema Pythagoras, hubungan daya semu dengan daya aktif dan reaktif adalah:

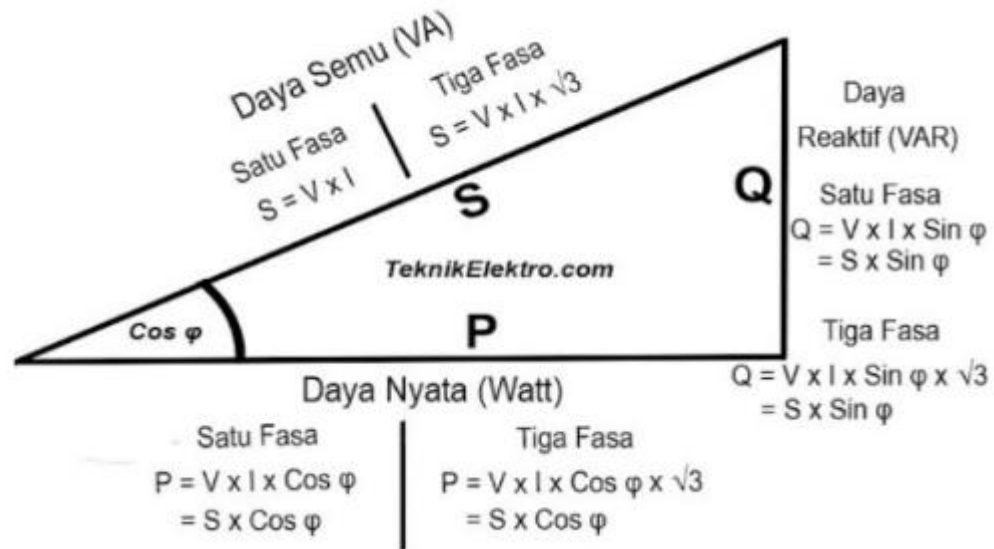
$$S = V \cdot I \quad (2.3)$$

4. Faktor Daya ($\cos \varphi$)

Faktor daya merupakan rasio perbandingan antara daya aktif (P) terhadap daya semu (S). Nilai ini mengindikasikan tingkat efisiensi penggunaan energi listrik dalam suatu sistem. Faktor daya yang ideal memiliki nilai mendekati satu (*unity*).

$$\text{Faktor Daya} = \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.4)$$

Besarnya nilai sudut φ ditentukan oleh karakteristik beban, di mana beban induktif menyebabkan arus tertinggal dari tegangan (*lagging*), sedangkan beban kapasitif menyebabkan arus mendahului tegangan (*leading*).



Gambar 2. 14 Segitiga Daya Listrik

2.2.7 Parameter Kinerja Jaringan Distribusi

Kinerja jaringan distribusi dievaluasi berdasarkan dua aspek utama: Keandalan Sistem dan Kualitas Daya. Keandalan mengacu pada kemampuan sistem untuk menyediakan pasokan listrik secara terus-menerus kepada pelanggan. Parameter ini sangat penting karena gangguan pada jaringan akan menyebabkan pemadaman listrik yang merugikan konsumen.

1. SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) merupakan indikator yang digunakan untuk mengukur rata-rata lama waktu pemadaman listrik yang dialami oleh pelanggan dalam satu tahun. Nilai SAIDI dinyatakan dalam satuan jam per pelanggan per tahun, sehingga mencerminkan tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik dari sisi durasi gangguan. Semakin rendah nilai SAIDI, maka semakin baik kualitas pelayanan penyedia listrik karena pelanggan mengalami pemadaman dengan durasi yang lebih singkat.
2. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) adalah indikator yang digunakan untuk mengukur rata-rata frekuensi pemadaman listrik yang dialami oleh pelanggan dalam satu tahun. Nilai SAIFI dinyatakan dalam satuan kali per pelanggan per tahun, sehingga menunjukkan seberapa sering pelanggan mengalami gangguan

pasokan listrik. Indeks ini memberikan gambaran mengenai tingkat keandalan sistem distribusi dari sisi jumlah kejadian pemadaman. Semakin rendah nilai SAIFI, maka semakin jarang pelanggan mengalami pemadaman, yang berarti kualitas pelayanan listrik semakin baik.

Tabel 2. 2 Standar indeks keandalan sistem distribusi

Indeks	Target PLN	Keterangan
SAIDI	≤ 8 jam/pelanggan/tahun	Lama pemadaman rata-rata
SAIFI	≤ 4 kali/pelanggan/tahun	Frekuensi pemadaman rata-rata

Kualitas daya mengacu pada sejauh mana tegangan, arus, dan frekuensi dalam suatu sistem tenaga listrik mampu mempertahankan bentuk gelombang sinusoidal ideal pada frekuensi dan amplitudo nominalnya, serta bebas dari gangguan yang dapat mengganggu kinerja sistem. Kualitas daya yang baik memastikan kontinuitas suplai listrik, stabilitas operasi peralatan, serta efisiensi energi yang optimal. Sebaliknya, kualitas daya yang buruk dapat menimbulkan berbagai masalah, seperti fluktuasi tegangan, distorsi harmonisa, ketidakseimbangan beban, maupun gangguan transien yang berpotensi merusak peralatan konsumen, memperpendek umur pakai komponen, dan menurunkan efisiensi keseluruhan sistem distribusi. Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian kualitas daya menjadi aspek penting dalam manajemen sistem tenaga listrik, terutama untuk menjamin keandalan pasokan dan keselamatan operasional.

Dengan memahami parameter-parameter dalam tabel tersebut, pengelola sistem tenaga listrik dapat mengidentifikasi potensi gangguan secara dini serta merumuskan langkah mitigasi yang tepat guna menjaga performa dan keandalan jaringan. Upaya ini pada akhirnya berkontribusi signifikan terhadap pengurangan biaya operasional dan pencegahan kerusakan peralatan jangka panjang yang diakibatkan oleh kualitas daya yang buruk. Untuk memperjelas aspek-aspek yang mempengaruhi kualitas daya, berikut ditunjukkan

Tabel 2. 3 terkait kualitas daya.

Tabel 2. 3 Parameter kualitas daya

Parameter Kualitas Daya	Definisi	Standar
Tegangan (<i>Voltage</i>)	Nilai tegangan yang diterima konsumen. Harus berada dalam batas toleransi tegangan nominal sistem	Sesuai standar PLN +5% -10%)
Jatuh Tegangan (<i>Voltage Drop</i>)	Penurunan tegangan sepanjang saluran penghantar akibat impedansi jaringan ($V_{\text{drop}} = I \times Z$).	Maksimum $\approx 5\%$ sampai 10%
Rugi-Rugi Daya (<i>Power Losses</i>)	Energi listrik yang hilang selama proses penyaluran (disebabkan oleh tahanan penghantar (I^2R losses) dan rugi-rugi pada transformator)	Presentase (%) dari daya yang disalurkan
Faktor Daya (<i>Power Factor</i> - PF)	Rasio antara Daya Aktif (P, Watt) dengan Daya Semu (S, VA). Idealnya mendekati 1 (satu).	Idealnya $> 0,9$ atau sesuai regulasi
Distorsi Harmonisa (<i>Harmonic Distortion</i>)	Penyimpangan bentuk gelombang tegangan atau arus dari bentuk sinusoidal murni yang disebabkan oleh beban non-linier. Diukur dengan Total Harmonic Distortion (THD)	THD Tegangan (THD_V) & THD Arus (THD_I) sesuai standar (misalnya, $< 5\%$ untuk THD Tegangan)
Frekuensi (<i>Frequency</i>)	Jumlah siklus gelombang per detik.	Standar di Indonesia 50 Hz ($\pm 0,5$ Hz)
Ketidakseimbangan (<i>Unbalance</i>)	Kondisi di mana amplitudo atau sudut fasa dari sistem 3-fasa tidak sama, seringkali karena pembagian beban yang tidak merata	Maksimum 2 - 3%

Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi disebabkan oleh resistansi konduktor dan dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{\text{losses}} \approx I^2 \cdot R \cdot L \quad (2.5)$$

Dimana

I adalah arus,

R adalah resistansi per satuan panjang,

dan L adalah panjang saluran.

Drop tegangan terjadi akibat impedansi saluran ketika membebani arus dan dihitung dengan:

$$V_{\text{drop}} = I \times (R \cos\phi + X \sin\phi) \times L \quad (2.6)$$

Dimana

R adalah resistansi,

X adalah reaktansi,

dan ϕ adalah sudut fasa.

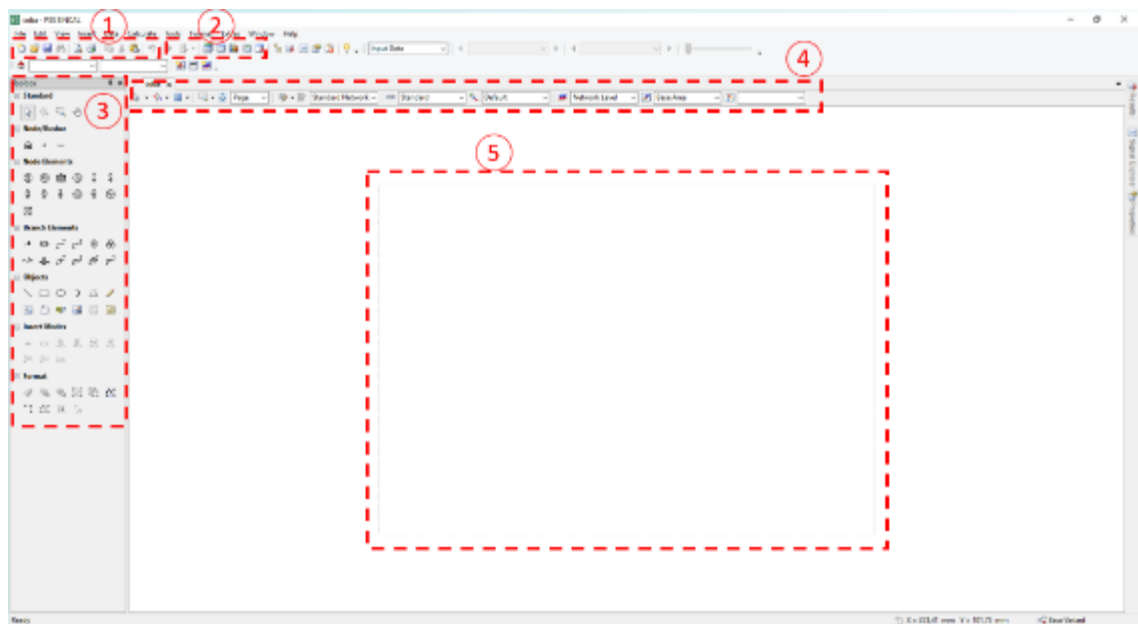
2.2.8 PSS®SINCAL 21.0

PSS®SINCAL adalah perangkat lunak simulasi dan analisis sistem tenaga listrik yang dikembangkan oleh Siemens. Aplikasi ini digunakan oleh para insinyur perencanaan jaringan listrik, operator sistem tenaga, serta konsultan untuk melakukan berbagai studi dan analisis terkait sistem tenaga listrik.

PSS®SINCAL memiliki berbagai fitur yang memungkinkan pengguna untuk melakukan simulasi dan analisis sistem tenaga listrik dengan akurasi tinggi. Beberapa fungsi utama dari aplikasi ini meliputi:

1. Analisis Aliran Daya (*Power flow Analysis*)
 - a) Memungkinkan pengguna untuk menghitung distribusi daya dalam jaringan listrik.
 - b) Menyediakan informasi tentang tegangan, arus, dan faktor daya di setiap titik jaringan.
2. Analisis Hubungan Singkat (*Short Circuit Analysis*)
 - a) Digunakan untuk menentukan arus gangguan dalam sistem tenaga listrik.
 - b) Membantu dalam desain sistem proteksi untuk memastikan keamanan jaringan.
3. Studi Stabilitas Sistem Tenaga (*Power System Stability Analysis*)
 - a) Menganalisis stabilitas sistem tenaga dalam kondisi gangguan atau perubahan beban.
 - b) Memungkinkan simulasi dinamis untuk memahami respons sistem terhadap gangguan.
4. Perencanaan dan Optimalisasi Jaringan

- a) Membantu dalam perencanaan ekspansi jaringan listrik.
- b) Menyediakan alat untuk optimasi kapasitas dan efisiensi sistem tenaga.
- c) Integrasi dengan GIS dan SCADA
- d) Dapat dihubungkan dengan sistem *Geographic Information System* (GIS) untuk pemetaan jaringan.
- e) Mendukung integrasi dengan SCADA untuk pemantauan dan pengendalian sistem tenaga secara real-time.



Gambar 2. 15 PSS SINCAL 21.0

5. Antarmuka PSS SINCAL 21.0

Bagian 1: Standard Toolbar (Manajemen Proyek) Kotak ini berisi ikon-ikon standar untuk manajemen berkas dan navigasi dasar. Fungsi utamanya meliputi pembuatan proyek baru (*New*), membuka proyek yang ada (*Open*), menyimpan data (*Save*), serta fungsi *Print*, *Undo*, dan *Redo*. Tool ini memfasilitasi administrasi dokumen proyek secara efisien.

Bagian 2: View and Navigation Tools (Kontrol Tampilan) Area ini berfungsi untuk mengatur visualisasi pada lembar kerja. Di dalamnya terdapat fitur *Zoom In*, *Zoom Out*, *Zoom Window*, dan *Pan* yang memungkinkan pengguna untuk mengatur skala tampilan jaringan listrik yang sedang dimodelkan agar lebih presisi.

Bagian 3: *Toolbox* (Elemen Jaringan dan Pemodelan) Ini adalah panel paling krusial yang berisi pustaka komponen listrik untuk membangun topologi jaringan. *Toolbox* ini dikategorikan menjadi *Node/Busbar* untuk menempatkan titik koneksi atau rel daya. *Node Elements* berisi simbol beban (*loads*), pembangkit (*generators*), dan kompensator. *Branch Elements* Berisi komponen penghubung seperti saluran transmisi/distribusi (konduktor), transformator, dan reaktor. *Protection Devices*: instrumen untuk pemodelan sistem proteksi.

Bagian 4: *Network and Calculation Settings* (Pengaturan Jaringan) Bilah ini digunakan untuk mengatur parameter operasional dan skenario kalkulasi. Pengguna dapat memilih tingkat tegangan (*Network Level*), area wilayah (*Base Area*), serta menentukan varian atau skenario jaringan yang akan dianalisis. Ini sangat penting untuk memisahkan data antara kondisi eksisting dan rencana pengembangan.

Bagian 5: *Drawing Area / Graphic Editor* (Lembar Kerja Utama) Area luas di tengah merupakan ruang kerja grafis tempat pengguna menyusun diagram satu garis (*Single Line Diagram*) secara visual. Di sini, elemen-elemen dari *Toolbox* diletakkan dan dihubungkan satu sama lain untuk membentuk sistem tenaga listrik yang utuh sebelum dilakukan simulasi aliran daya atau gangguan.

2.2.9 Optimalisasi Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik

Optimalisasi konfigurasi sistem tenaga listrik merupakan proses penentuan bentuk jaringan dan pengaturan operasi yang paling efektif untuk mencapai efisiensi penyaluran energi, peningkatan keandalan, serta penurunan rugi-rugi daya. Optimalisasi sistem tenaga dilakukan dengan mempertimbangkan batasan teknis (seperti kapasitas saluran, batas tegangan, dan keandalan) serta tujuan ekonomis (minimisasi rugi-rugi daya dan biaya operasi).

Dalam konteks jaringan distribusi 20 kV, optimalisasi konfigurasi dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan, antara lain:

1. Rekonfigurasi jaringan – perubahan status buka/tutup pemutus beban untuk memperbaiki distribusi aliran daya.

2. Penentuan lokasi gardu induk – menempatkan gardu induk baru pada posisi yang paling dekat dengan pusat beban untuk meminimalkan rugi-rugi.
3. Optimalisasi kapasitas transformator – pemilihan kapasitas trafo sesuai dengan proyeksi pertumbuhan beban.
4. Simulasi aliran daya – menggunakan perangkat lunak seperti PSS® Sincal untuk mengevaluasi dampak teknis dari berbagai konfigurasi jaringan.

2.3 Kerangka Pemikiran

Penelitian ini berangkat dari kondisi eksisting sistem kelistrikan di ULP Tamiang Layang yang hingga saat ini masih disuplai dari GI Amuntai. Jarak yang cukup jauh antara GI Amuntai dengan pusat beban di Kabupaten Barito Timur menyebabkan permasalahan teknis berupa rugi-rugi daya yang tinggi, penurunan profil tegangan, serta keandalan sistem distribusi yang kurang optimal. Untuk mengurangi permasalahan tersebut, suplai listrik di ULP Tamiang Layang juga dibantu dengan *excess power* dari PLTU Rimau dan PLTBg SGM (Sawit Graha Manunggal) yang berfungsi untuk memperbaiki profil tegangan. Meskipun demikian, kapasitas dan kontribusi kedua pembangkit ini masih terbatas sehingga belum mampu menyelesaikan permasalahan mendasar terkait efisiensi penyaluran energi dan keandalan sistem.

Pembangunan Gardu Induk (GI) yang lebih dekat dengan pusat beban dapat menurunkan rugi-rugi daya, memperbaiki profil tegangan, dan meningkatkan keandalan sistem secara signifikan. Hal ini sejalan dengan standar pelayanan tenaga listrik (SPLN T6.001:2013 dan IEEE Std 1366-2012) yang menekankan pentingnya menjaga kualitas tegangan dan indeks keandalan dalam batas toleransi yang dapat diterima.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis teknis dan finansial pembangunan GI Tamiang Layang dengan menggunakan perangkat lunak PSS® Sincal 21.0 untuk simulasi sistem kelistrikan. Analisis dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah adanya GI Tamiang Layang, dengan mempertimbangkan parameter teknis berupa rugi-rugi daya, profil tegangan, serta indeks keandalan. Selain itu, dilakukan pula analisis kelayakan finansial untuk menilai sejauh mana pembangunan GI Tamiang Layang dapat menjadi investasi yang efektif dan berkelanjutan.

Dengan demikian, kerangka pemikiran penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah – kondisi eksisting ULP Tamiang Layang yang masih bergantung pada GI Amuntai dengan bantuan *excess power* PLTU Rimau dan PLTBg SGM, namun belum optimal.
2. Kajian teori – mengenai jaringan distribusi 20 kV, rugi-rugi daya, profil tegangan, keandalan sistem, serta teori investasi pada infrastruktur kelistrikan.
3. Analisis simulasi teknis – membandingkan kondisi sebelum dan sesudah adanya GI Tamiang Layang menggunakan software PSS® Sincal 21.0.
4. Analisis finansial –manfaat pembangunan GI Tamiang Layang.
5. Rekomendasi optimalisasi – berupa konfigurasi sistem distribusi yang paling efisien dan andal pasca pembangunan GI.