

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini, penulis melakukan tinjauan literatur terhadap beberapa penelitian yang relevan sebagai dasar teori dan acuan dalam penyusunan tugas akhir. Sumber referensi yang digunakan berasal dari jurnal ilmiah, artikel, skripsi, maupun buku teks yang berkaitan dengan topik penelitian. Beberapa referensi yang dijadikan acuan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Zulkarnain Lubis & Abendanon Siagian (2024) *JET (Journal of Electrical Technology)*, Vol. 9, No. 2 ISSN Online: 2598-1099, ISSN Cetak: 2502-3624 dalam jurnal berjudul “Analisis Sistem Konfigurasi Jaringan Distribusi Penyulang 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Pakam Kota untuk Keandalan Jaringan Tenaga Listrik” menjelaskan bahwa konfigurasi jaringan sangat mempengaruhi kontinuitas penyaluran daya listrik. Dengan melakukan optimasi ada konfigurasi jaringan radial dan open loop, diperoleh peningkatan nilai keandalan sistem sebesar 13,56% melalui penurunan indeks SAIDI dan SAIFI. Hasil ini menunjukkan bahwa analisis sistem distribusi dengan pengaturan konfigurasi jaringan dapat menjadi dasar dalam menentukan strategi pecah beban untuk mengurangi area terdampak padam.
2. Sri Wahyuni Dali, Imron Ridzki, Muhammad Fahmi Hakim, Hana Nabilla Hapsari, dan Latasha Fadiela Nurlakshita (2022) *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, Vol. 9, No. 2, halaman 76–80 melalui penelitian “Analisis Pemecahan Beban Penyulang Kalipare 20 kV” menguraikan upaya penyeimbangan beban antarpenyulang dengan melakukan manuver jaringan dan analisis arus beban menggunakan perangkat ETAP 12.6.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan melakukan pemindahan sebagian beban ke penyulang lain, nilai arus pada penyulang utama menurun dari 214 A menjadi 157 A, serta memperbaiki profil tegangan sebesar 0,7%. Studi ini membuktikan bahwa pecah beban efektif dalam menjaga kestabilan sistem dan menekan risiko overload.

3. Muhammad Rifqi Fadhillah, M. Arif Nurhidayat, dan Imam Mustofa (2023) *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, Vol. 15, No. 2, 2023, hlm. 45–52 ISSN (Online): 2541-3724 dalam penelitian “Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru Wirobrajan 07 di PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta” menyoroti perlunya pembangunan jaringan baru sebagai solusi terhadap beban distribusi yang tidak merata. Melalui analisis perencanaan teknis dengan mempertimbangkan kapasitas transformator dan arus maksimum penyulang, diperoleh rancangan jaringan baru sepanjang 3,4 km yang mampu menurunkan beban rata-rata pada penyulang lama sebesar 28%. Penelitian ini memperkuat argumen bahwa pembangunan jaringan tambahan dapat menjadi langkah efektif untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi distribusi tenaga listrik.

Tabel 2.1 Penelitian yang Relevan

No	Judul dan Tahun	Masalah	Metodologi	Hasil	Riset Gap
1.	Analisis Sistem Konfigurasi Jaringan Distribusi Penyulang 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Pakam Kota untuk Keandalan Jaringan Tenaga Listrik, JET Journal of Electrical Technology, 2024.	Kinerja sistem distribusi menurun akibat konfigurasi jaringan radial yang masih terbatas dan belum optimal dalam mendukung kontinuitas pasokan daya. Hal ini menyebabkan tingginya angka SAIDI dan SAIFI pada penyulang tertentu.	Metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan analisis sistem distribusi. Data lapangan berupa nilai gangguan, durasi padam, dan jumlah pelanggan terdampak dianalisis menggunakan perhitungan indeks keandalan (SAIDI dan SAIFI). Simulasi dilakukan untuk membandingkan konfigurasi	Ditemukan bahwa penerapan sistem konfigurasi open-loop mampu menurunkan nilai SAIDI sebesar 12,7% dan SAIFI sebesar 13,56% dibanding sistem radial. Hal ini menunjukkan bahwa optimalisasi konfigurasi jaringan dapat meningkatkan keandalan distribusi listrik.	Penelitian ini berfokus pada perubahan konfigurasi sistem jaringan tanpa menganalisis kondisi pembebanan antarpemulang. Sehingga, masih diperlukan studi lanjutan yang menyoroti pecah beban antar pemulang untuk menyeimbangkan arus dan mencegah overload

			radial dan open-loop.		
2.	Analisis Pemecahan Beban Penyulang Kalipare 20 kV, ELPOS YS: Jurnal Sistem Kelistrikan, 2022.	Tingginya pembebanan pada salah satu penyulang menyebabkan ketidakseimbangan arus dan penurunan profil tegangan di wilayah Kalipare. Kondisi ini berpotensi menyebabkan pemadaman apabila tidak dilakukan redistribusi beban.	Menggunakan metode kuantitatif dengan simulasi sistem distribusi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Data arus, tegangan, dan daya diukur lalu dimasukkan ke dalam model untuk menganalisis perubahan kondisi sebelum dan sesudah dilakukan pecah beban.	Setelah dilakukan pemindahan sebagian beban dari penyulang Kalipare 1 ke Kalipare 2, arus beban turun dari 214 A menjadi 157 A dan tegangan meningkat 0,7%. Hal ini membuktikan bahwa teknik pecah beban efektif untuk menstabilkan distribusi dan mengurangi risiko overload.	Penelitian ini belum mengaitkan hasil pecah beban dengan indikator keandalan sistem seperti SAIDI dan SAIFI, serta belum meninjau aspek teknis pembangunan infrastruktur jaringan baru (tiang, kabel, dan LBS) yang diperlukan untuk mendukung pecah beban.
3.	Perencanaan Pembangunan Penyulang	Penyulang eksisting mengalami beban berlebih (overload)	Penelitian menggunakan pendekatan perencanaan teknis berbasis	Dengan pembangunan penyulang baru sepanjang 3,4 km, beban pada	Penelitian ini hanya fokus pada pembangunan penyulang

	Baru Wirobrajan 07 di PT PLN (Persero) UP3 Yogyakarta, Jurnal Energi dan Kelistrikan, 2023.	karena pertumbuhan pelanggan tanpa adanya pembagian beban yang seimbang. Kondisi ini berisiko menurunkan keandalan sistem dan menyebabkan tegangan drop di ujung jaringan.	data lapangan (daya transformator, panjang jaringan, dan beban pelanggan). Simulasi pembebanan dilakukan untuk menentukan lokasi dan panjang optimal penyulang baru menggunakan metode analisis arus dan tegangan.	penyulang lama menurun rata-rata sebesar 28%, serta profil tegangan meningkat hingga mencapai batas normal PLN.	baru, bukan pada redistribusi beban antarpemulang eksisting.
--	---	--	--	---	--

2.2 Landasan Teori

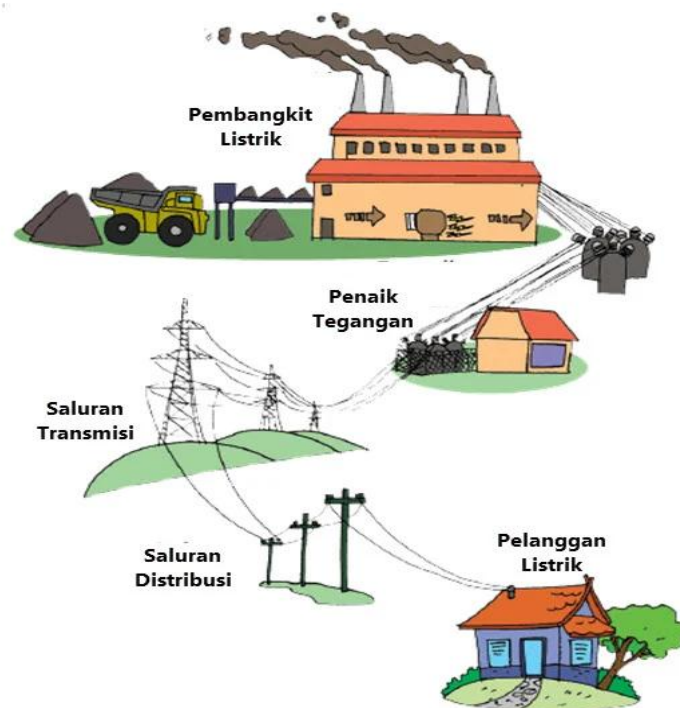
2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sebagai bagian terakhir dari sistem tenaga listrik, jaringan distribusi memiliki fungsi utama untuk menyalurkan daya listrik dari gardu induk menuju konsumen, mencakup sektor industri, bisnis, dan rumah tangga. Sistem ini menjadi salah satu komponen penting dalam jaringan tenaga listrik karena memastikan bahwa listrik yang telah dihasilkan oleh pembangkit dan ditransmisikan melalui saluran tegangan tinggi dapat digunakan dengan aman, stabil, dan efisien oleh pengguna. Keandalan dan efisiensi sistem distribusi sangat berpengaruh terhadap kualitas layanan listrik yang diterima oleh konsumen.

Secara umum, sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari beberapa komponen utama, seperti jaringan distribusi primer, jaringan distribusi sekunder, transformator distribusi, dan peralatan proteksi. Jaringan distribusi primer beroperasi pada tegangan menengah (misalnya 6 kV, 20 kV, atau 33 kV) dan berfungsi untuk menyalurkan listrik dari gardu induk ke berbagai titik distribusi. Sementara itu, jaringan distribusi sekunder beroperasi pada tegangan rendah (220V atau 380V) yang kemudian digunakan langsung oleh konsumen. Transformator distribusi berperan dalam menurunkan tegangan dari jaringan primer ke jaringan sekunder agar sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik pengguna.

Sistem distribusi tenaga listrik memiliki peran utama dalam menyalurkan energi dari gardu induk distribusi menuju konsumen akhir dengan menjaga kualitas pelayanan yang optimal. Menurut beberapa literatur, salah satu indikator utama dari mutu pelayanan adalah kontinuitas suplai listrik, yang dipengaruhi oleh faktor seperti konfigurasi jaringan, desain sistem, serta jenis peralatan yang diterapkan. Tantangan utama dalam pengoperasian sistem distribusi terletak pada kemampuan menangani gangguan secara cepat dan efektif, sebab sebagian besar gangguan dalam sistem tenaga listrik terjadi pada bagian distribusi khususnya jaringan tegangan menengah.

Keandalan merupakan faktor krusial dalam menilai kinerja sistem distribusi tenaga listrik. Keandalan ini menunjukkan sejauh mana sistem mampu menjaga kontinuitas suplai tenaga listrik kepada konsumen. Permasalahan mendasar dalam sistem distribusi meliputi aspek mutu, kontinuitas, serta ketersediaan daya listrik bagi pelanggan. Prakiraan tingkat keandalan bergantung pada berbagai faktor, seperti karakteristik operasi, kondisi kerja sistem, dan distribusi kegagalan komponen. Oleh karena itu, langkah awal dalam memperkirakan keandalan sistem distribusi adalah dengan mengidentifikasi karakteristik operasi dari setiap komponennya.



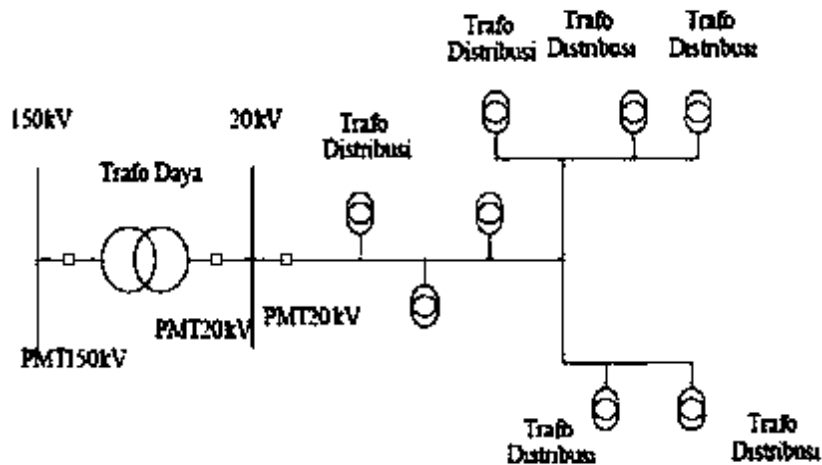
Gambar 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.2.2 Jenis Konfigurasi Jaringan Distribusi

a. Konfigurasi Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi radial merupakan bentuk jaringan paling dasar, sederhana, dan umum digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik. Disebut radial karena penyaluran dayanya bersumber dari satu titik utama yang berfungsi sebagai sumber, kemudian menyebar secara bercabang ke berbagai titik beban yang dilayani.

Pada sistem ini, catu daya hanya berasal dari satu sumber, sehingga arus yang mengalir di setiap bagian saluran tidak seragam. Akibatnya, kerapatan arus di sepanjang jaringan juga berbeda-beda, dan hal ini memengaruhi ukuran penampang konduktor. Saluran utama yang berada dekat dengan sumber memiliki arus beban lebih besar sehingga memerlukan penampang konduktor yang lebih besar, sedangkan cabang-cabang yang lebih jauh dengan arus lebih kecil dapat menggunakan konduktor berpenampang lebih kecil.



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Radial

b. Konfigurasi Jaringan Distribusi Loop

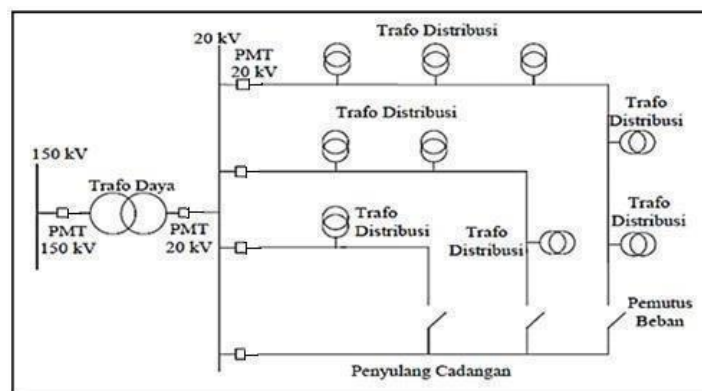
Pada jaringan tegangan menengah dengan konfigurasi lingkaran (*loop*) pasokan daya tidak hanya bergantung pada satu sumber, melainkan dapat disuplai dari beberapa gardu induk sekaligus. Struktur semacam ini dikenal memiliki tingkat keandalan lebih tinggi dibandingkan sistem radial. Seperti dijelaskan dalam beberapa referensi, keunggulan utama sistem loop terletak pada kemampuannya menyalurkan energi melalui dua atau lebih *feeder* yang saling terhubung, sehingga ketika terjadi gangguan pada salah satu jalur, jalur lainnya dapat menggantikan fungsi penyaluran daya dan memastikan kontinuitas pelayanan tetap terjaga.

Selain itu, apabila jaringan *loop* menggunakan dua sumber pembangkit, maka kualitas tegangan menjadi lebih stabil dan regulasi tegangannya relatif kecil. Namun, seperti halnya konfigurasi jaringan lain, sistem *loop* juga memiliki keterbatasan. Kekurangan yang umum dijumpai antara lain terjadinya *drop tegangan* yang lebih besar serta penurunan kemampuan pelayanan ketika beban yang dilayani meningkat.

d. Konfigurasi Jaringan Distribusi Gugus

Konfigurasi jaringan gugus umumnya diterapkan di daerah perkotaan dengan tingkat kerapatan beban yang tinggi. Pada sistem ini terdapat saklar pemutus beban serta penyulang cadangan yang berfungsi untuk menjaga kontinuitas suplai. Apabila terjadi gangguan pada salah satu penyulang yang melayani konsumen, maka penyulang cadangan akan otomatis menggantikan peran penyulang yang terganggu sehingga pasokan listrik kepada pelanggan tetap terjaga.

Sistem ini memiliki keunggulan dalam kemudahan operasi dibandingkan dengan sistem spindel. Selain itu, konfigurasi ini tidak memerlukan lokasi khusus untuk *switching* atau gardu hubung dalam satu area, serta memungkinkan panjang jaringan yang lebih pendek untuk cakupan wilayah yang sama.



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Gugus

2.2.3 Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah

Dalam pendistribusian tenaga listrik kepada konsumen di suatu wilayah, penggunaan sistem tegangan menengah sebagai jaringan utama bertujuan untuk meminimalkan rugi-rugi daya (*losses*) sekaligus menjaga kualitas tegangan sesuai standar yang ditetapkan. Hal ini sejalan dengan ketentuan dalam Undang-Undang Ketenagalistrikan Nomor 30 Tahun 2009, di mana PT PLN (Persero) sebagai pemegang Kuasa Usaha Ketenagalistrikan Utama wajib memenuhi persyaratan mutu dan keandalan penyaluran tenaga listrik.

Dengan ditetapkannya standar tegangan menengah sebesar 20 kV sebagai tegangan operasi di Indonesia, maka konstruksi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) harus memenuhi ketentuan *engineering* terkait keamanan ketenagalistrikan. Ketentuan tersebut meliputi jarak aman minimum antara konduktor fasa dengan lingkungan sekitar maupun

terhadap tanah pada sistem saluran udara, serta ketahanan isolasi pada sistem kabel udara pilin atau kabel bawah tanah tegangan menengah. Selain itu, rancangan jaringan juga harus mempertimbangkan kemudahan dalam pelaksanaan Pengoperasian Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) agar kegiatan pemeliharaan dapat dilakukan tanpa mengganggu kontinuitas suplai. Penerapan standar ini bertujuan untuk menjaga keandalan dan kontinuitas pelayanan tenaga listrik kepada konsumen. Ukuran dimensi konstruksi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) tidak hanya ditujukan untuk memenuhi persyaratan dalam pendistribusian daya listrik, tetapi juga harus memperhatikan ketahanan isolasi pada penghantar guna menjamin keamanan operasi pada tegangan 20 kV.

Lingkup Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dalam sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia mencakup wilayah mulai dari terminal keluar (*outgoing*) pada pemutus tenaga transformator penurun tegangan di gardu induk, atau dari transformator penaik tegangan pada pembangkit untuk sistem distribusi berskala kecil. Batas akhir dari jaringan ini berada pada peralatan pemisah atau proteksi sisi masuk (*incoming*) menuju transformator distribusi yang memiliki level tegangan 20 kV / 231–400 V. Jaringan SUTM terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja bersama untuk memastikan kontinuitas penyaluran listrik:

1. Tiang Beton atau Besi

Tiang adalah elemen struktur yang berfungsi sebagai penopang utama dalam jaringan distribusi listrik. Tiang ini memiliki peran krusial dalam menahan dan menopang konduktor, isolator, serta peralatan lainnya, memastikan sistem distribusi dapat beroperasi dengan stabil. Salah satu jenis tiang yang paling umum digunakan adalah tiang beton, yang dikenal dengan kekuatan dan daya tahan yang sangat baik. Tiang beton memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap korosi, yang menjadikannya pilihan ideal untuk instalasi jaringan listrik di lingkungan yang terpapar cuaca ekstrem atau kelembapan tinggi. Selain itu, tiang beton juga memiliki umur teknis yang panjang, sehingga meminimalkan kebutuhan akan pemeliharaan atau penggantian dalam jangka waktu lama.

Di sisi lain, tiang besi sering dipilih untuk aplikasi tertentu di mana beban mekanis yang tinggi atau kondisi yang membutuhkan fleksibilitas desain menjadi pertimbangan utama. Tiang besi memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan beton, sehingga cocok digunakan di lokasi yang memerlukan tiang dengan daya tahan terhadap beban angin yang sangat kuat atau dalam instalasi yang memerlukan ketinggian atau jangkauan

tertentu. Selain itu, tiang besi lebih mudah untuk dipasang dan dipindahkan, memberikan keuntungan di lokasi dengan kebutuhan akan desain yang lebih dinamis. Meskipun demikian, tiang besi memerlukan perlindungan tambahan terhadap korosi, seperti pelapisan galvanis, agar dapat bertahan dalam jangka panjang. Pemilihan jenis tiang yang tepat sangat bergantung pada kondisi lingkungan, beban yang harus ditanggung, serta tujuan dari instalasi jaringan distribusi yang diinginkan.



Gambar 2. 6 Tiang Listrik

2. Konduktor

Konduktor adalah penghantar listrik yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dalam jaringan distribusi, dan biasanya tidak dilapisi dengan isolasi. Konduktor ini umumnya terbuat dari aluminium atau *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC), yang merupakan jenis paduan aluminium dengan sifat konduktivitas yang baik. Aluminium dipilih sebagai bahan utama konduktor karena beberapa keunggulannya, seperti ringan, tahan terhadap korosi, dan memiliki daya hantar arus yang baik. Keunggulan-keunggulan tersebut menjadikan aluminium lebih efisien dan lebih murah dibandingkan dengan bahan penghantar lainnya, seperti tembaga, serta lebih tahan lama di lingkungan yang terpapar cuaca ekstrem dan kelembapan.

Ukuran konduktor bervariasi tergantung pada kapasitas daya yang perlu disalurkan dalam sistem kelistrikan. Konduktor dengan ukuran lebih besar, seperti 240 mm², 150 mm², dan 70 mm², digunakan untuk menyalurkan daya yang lebih tinggi, sementara ukuran lebih kecil, seperti 35 mm², digunakan untuk beban yang lebih ringan. Pemilihan ukuran konduktor yang tepat sangat penting untuk memastikan distribusi daya yang efisien dan menghindari pemborosan energi akibat hambatan yang terlalu besar. Ukuran

konduktor ini juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti panjang saluran, tegangan yang digunakan, serta kebutuhan akan kestabilan dan keamanan dalam pengoperasian jaringan listrik.



Gambar 2. 7 Konduktor AAAC

3. Isolator

Isolator adalah komponen penting dalam sistem kelistrikan yang berfungsi untuk menopang konduktor sekaligus mencegah terjadinya kebocoran arus listrik ke tiang atau bagian lainnya yang tidak seharusnya dialiri listrik. Secara umum, isolator bekerja dengan menjaga konduktor agar tetap terpisah dari struktur pendukung, seperti tiang listrik, sehingga arus listrik hanya mengalir melalui jalur yang telah ditentukan, yaitu kabel atau konduktor. Selain itu, isolator juga berfungsi untuk memastikan bahwa tidak ada arus bocor yang dapat membahayakan lingkungan sekitar atau menyebabkan kerusakan pada sistem.

Isolator umumnya terbuat dari bahan porselen atau bahan polimer yang memiliki ketahanan tinggi terhadap berbagai faktor eksternal. Porselen, sebagai bahan tradisional, terkenal dengan kekuatan mekaniknya yang baik, tahan terhadap tekanan, serta ketahanan terhadap suhu tinggi dan polusi lingkungan, sehingga cocok digunakan dalam kondisi yang berat. Sementara itu, isolator berbahan polimer, seperti epoksi atau komposit, lebih ringan dan lebih tahan terhadap keretakan akibat benturan atau getaran, serta memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap polusi udara dan kelembapan. Isolator jenis ini juga lebih tahan lama dalam kondisi cuaca ekstrem, seperti hujan, angin, atau suhu ekstrem.

Keduanya, isolator porselen dan polimer, dirancang untuk tahan terhadap tegangan tinggi yang terjadi dalam sistem kelistrikan, sehingga mencegah terjadinya flashover atau gangguan arus listrik yang melompat melewati isolator dan menimbulkan kerusakan atau potensi bahaya kebakaran. Keberadaan isolator yang berkualitas dan terpasang dengan benar sangat penting dalam menjaga kestabilan dan keamanan jaringan distribusi listrik.



Gambar 2. 8 Isolator Tumpu



Gambar 2. 9 Isolator Tarik

4. *Cross Arm* (Lengan Penyangga)

Cross arm adalah komponen penting yang dipasang pada tiang listrik dan berfungsi untuk menahan isolator serta menjaga posisi konduktor dalam sistem distribusi listrik. Komponen ini dirancang dengan struktur horizontal yang dipasang di bagian atas tiang, berfungsi untuk mendukung isolator yang menahan konduktor pada posisinya yang tepat. Salah satu fungsi utama dari *cross arm* adalah untuk memastikan adanya jarak aman antar fasa dan juga antara penghantar dengan tiang. Jarak ini sangat penting untuk mencegah

terjadinya hubung singkat antar konduktor atau dengan bagian tiang yang bisa membahayakan sistem kelistrikan dan menyebabkan gangguan.

Cross arm juga dirancang agar dapat menahan beban konduktor yang terpasang pada isolator serta gaya mekanis yang timbul akibat angin, beban cuaca, atau faktor eksternal lainnya. Komponen ini biasanya terbuat dari bahan yang kuat dan tahan lama, seperti baja galvanis atau aluminium, yang memiliki ketahanan terhadap korosi dan faktor cuaca ekstrem. Dengan adanya *cross arm* yang terpasang dengan baik, posisi dan kestabilan konduktor dapat terjaga, serta menjaga jarak yang aman sesuai dengan standar keselamatan kelistrikan, sehingga mengurangi risiko terjadinya gangguan yang dapat membahayakan sistem distribusi listrik.



Gambar 2. 10 Cross Arm

5. *Grounding* (Pembumian)

Sistem pembumian atau *grounding* adalah salah satu langkah penting dalam menjaga keselamatan dan keandalan jaringan listrik, dengan tujuan untuk melindungi peralatan listrik dan manusia dari dampak tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir atau gangguan lainnya. Pembumian bekerja dengan menyediakan jalur bagi aliran arus lebih untuk mengalir ke tanah, sehingga mengurangi risiko kerusakan pada peralatan dan menghindari potensi bahaya kebakaran atau sengatan listrik. Pada sistem distribusi listrik Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), *grounding* biasanya dilakukan

dengan cara memasang batang tanah yang ditanam di sekitar tiang listrik. Batang tanah ini berfungsi sebagai titik saluran arus gangguan ke tanah, sehingga arus yang tidak diinginkan dapat dibuang dengan aman.

Batang tanah yang digunakan umumnya terbuat dari bahan konduktor yang tahan korosi, seperti baja galvanis atau tembaga, dan ditanam pada kedalaman tertentu untuk memastikan koneksi yang baik dengan lapisan tanah yang memiliki konduktivitas tinggi. Sistem pembumian ini juga dilengkapi dengan kawat penghubung yang menghubungkan batang tanah dengan komponen lain dalam sistem distribusi listrik, seperti tiang dan konduktor. Dengan adanya grounding yang efektif, potensi kerusakan akibat lonjakan tegangan atau gangguan eksternal seperti sambaran petir dapat diminimalkan, menjaga kestabilan sistem dan meningkatkan keselamatan bagi pengguna serta peralatan yang terhubung pada jaringan listrik tersebut.

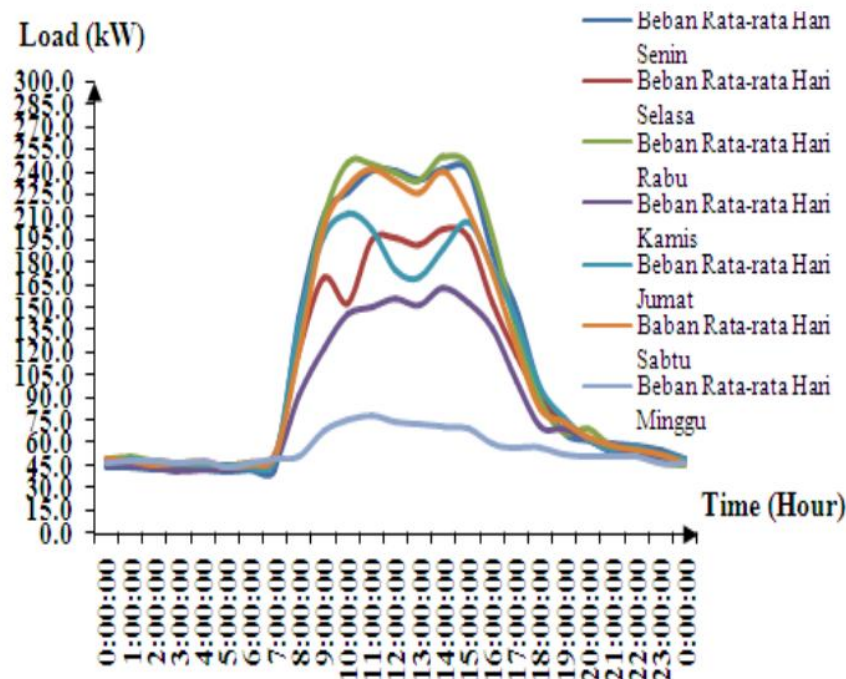
2.2.4 Beban Puncak

Beban puncak adalah kondisi ketika kebutuhan daya listrik mencapai nilai tertinggi dalam suatu periode waktu tertentu, biasanya terjadi pada jam-jam aktivitas maksimum masyarakat, seperti sore hingga malam hari. Pada saat inilah sistem tenaga listrik berada pada kondisi paling berat karena seluruh komponen jaringan harus mampu menyalurkan daya secara optimal tanpa mengalami gangguan. Beban puncak menjadi indikator penting dalam menilai kemampuan sistem dalam melayani konsumen serta menjadi dasar dalam perencanaan kapasitas pembangkitan dan distribusi tenaga listrik.

Dalam sistem tenaga listrik, prinsip utama operasi adalah bahwa daya yang dibangkitkan harus selalu sama dengan daya yang dikonsumsi oleh beban. Ketidakseimbangan antara pembangkitan dan beban, khususnya saat beban puncak, dapat menimbulkan dua risiko besar. Jika daya yang dibangkitkan lebih kecil dari kebutuhan saat beban puncak, maka akan terjadi pemadaman atau penurunan kualitas tegangan. Sebaliknya, jika pembangkitan terlalu besar, akan terjadi pemborosan energi yang merugikan perusahaan listrik. Oleh karena itu, pengelolaan beban puncak sangat menentukan efisiensi dan keandalan sistem tenaga listrik.

Karakteristik beban puncak sangat dipengaruhi oleh pola aktivitas masyarakat, kondisi ekonomi, jumlah pelanggan, serta perubahan perilaku konsumsi energi. Beban tidak bersifat konstan, melainkan berubah dari waktu ke waktu mengikuti kebutuhan

pengguna. Karena tidak ada rumus eksak yang dapat memastikan besarnya beban listrik setiap saat, maka diperlukan metode peramalan beban untuk memprediksi kapan dan seberapa besar beban puncak akan terjadi. Peramalan ini sangat penting agar sistem dapat dipersiapkan sebelum beban puncak benar-benar muncul.



Gambar 2. 11 Grafik Beban Rata-rata Harian pada Jam yang Sama Selama 24 Jam
Sumber: Aminullah, Firdaus, dan Ervianto (2015)

Berdasarkan gambar 2.11 beban rata-rata harian, beban listrik meningkat sejak pagi dan mencapai beban puncak siang pada rentang pukul 09.00–12.00. Setelah periode tersebut, beban mulai menurun secara bertahap hingga sekitar pukul 15.00. Pada malam hari, beban kembali meningkat mulai pukul 18.00, seiring dengan meningkatnya aktivitas penggunaan listrik oleh konsumen rumah tangga.

Dalam praktiknya, PLN menggunakan data beban masa lalu sebagai dasar untuk meramalkan beban puncak jangka pendek. Metode konvensional seperti koefisien beban masih digunakan, namun perkembangan teknologi memungkinkan penggunaan metode komputasi yang lebih akurat, seperti Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Metode ini mampu mempelajari pola beban listrik setiap jam dan setiap hari, sehingga dapat memperkirakan beban puncak dengan tingkat kesalahan yang sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa beban puncak tidak hanya penting untuk diketahui, tetapi juga harus diprediksi secara cermat.

Berdasarkan jurnal *Peramalan Beban Puncak Listrik Jangka Pendek Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan* oleh Triwulan, beban puncak dianalisis pada rentang waktu **pukul 17.00 sampai dengan 22.00**. Rentang waktu ini dipilih karena pada jam-jam tersebut konsumsi listrik berada pada level tertinggi dalam satu hari. Hal ini berkaitan dengan meningkatnya aktivitas masyarakat setelah jam kerja, seperti penggunaan penerangan, peralatan rumah tangga, serta aktivitas ekonomi rumah tangga lainnya. Oleh karena itu, periode 17.00–22.00 menjadi waktu kritis dalam operasi sistem tenaga listrik dan dijadikan dasar utama dalam peramalan beban puncak jangka pendek.

2.2.5 Pecah Beban

Pecah beban merupakan metode teknis dalam sistem distribusi tenaga listrik yang dilakukan dengan memindahkan sebagian beban dari penyulang atau transformator yang telah padat ke jaringan lain yang masih memiliki kapasitas. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk menjaga agar arus yang mengalir pada penyulang tidak melebihi batas kemampuan hantar, sehingga kualitas tegangan di sisi pelanggan tetap terjaga dan sistem bekerja lebih andal.

Pertumbuhan kebutuhan energi listrik pada wilayah pemukiman padat dan kawasan industri menyebabkan peningkatan beban yang signifikan pada penyulang distribusi 20 kV. Kondisi ini menuntut adanya langkah teknis yang cepat dan aman agar sistem tetap mampu melayani penambahan pelanggan tanpa menurunkan kualitas penyaluran tenaga listrik. Salah satu solusi yang diterapkan adalah pembangunan penyulang baru disertai pemisahan atau pecah beban dari penyulang lama.

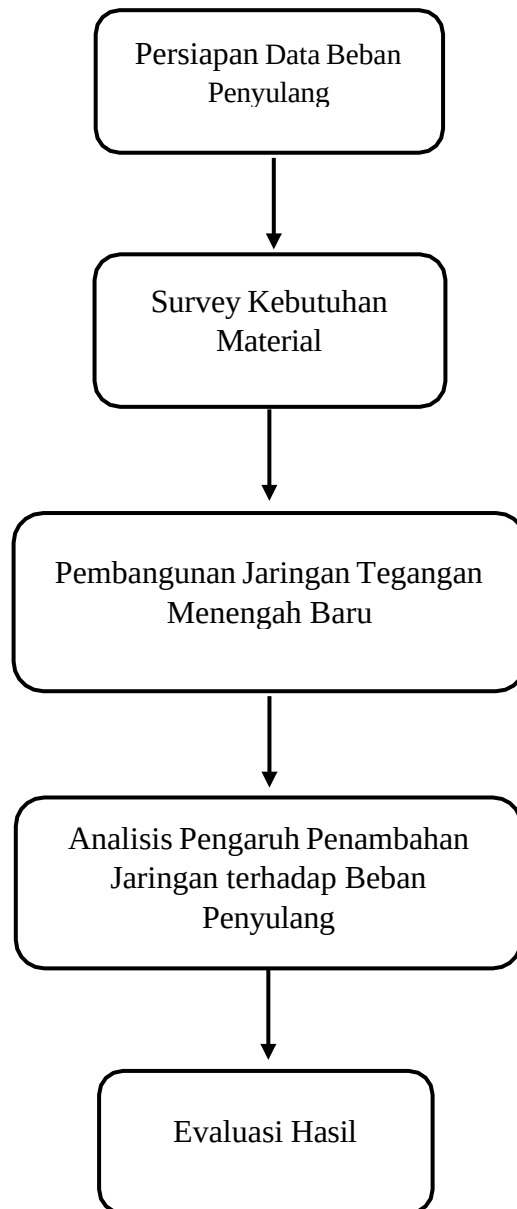
Pemindahan beban dilakukan dengan menentukan titik pecah yang strategis, yaitu lokasi yang dekat dengan jalur penyulang baru dan memiliki potensi pembebanan tinggi. Setelah dilakukan pecah beban, sebagian gardu distribusi yang semula disuplai oleh penyulang lama dialihkan ke penyulang baru sehingga arus dan tegangan menjadi lebih seimbang. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kepadatan beban pada satu jalur dan meningkatkan kualitas pendistribusian tenaga listrik.

Kualitas tegangan sangat dipengaruhi oleh besar arus dan impedansi saluran. Ketika beban terlalu besar, jatuh tegangan di ujung penyulang akan meningkat. Setelah dilakukan pecah beban, nilai tegangan pada penyulang baru menjadi lebih baik dibandingkan kondisi sebelum pemisahan, sehingga tegangan yang diterima pelanggan berada dalam batas standar yang diizinkan PLN, yaitu +5% dan -10% dari tegangan nominal

Pecah beban juga berkontribusi dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Dengan pembagian beban yang lebih merata, risiko terjadinya overload, gangguan, dan trip peralatan dapat ditekan. Prinsip pemindahan suplai beban yang dirancang dengan baik terbukti mampu menjaga kestabilan arus dan tegangan meskipun terjadi perpindahan sumber daya.

Pengelolaan beban puncak menjadi aspek penting dalam sistem tenaga listrik. Salah satu pendekatan yang dilakukan adalah mengalihkan sebagian beban pada jam puncak ke sumber lain agar pembebanan sistem utama menjadi lebih ringan. Konsep ini sejalan dengan pecah beban, yaitu memindahkan sebagian beban dari sistem yang padat ke sistem lain sehingga kinerja jaringan menjadi lebih optimal dan ekonomis.

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.12. Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, sebelum dimulainya pembangunan jaringan listrik baru, diperlukan persiapan data untuk survey. Pada saat proses persiapan ini terdiri dari mempersiapkan data yang dibutuhkan. Setelah segala persiapan tersebut, penulis dapat melakukan kegiatan penambahan jaringan tegangan menengah, yang setelah dilakukan penambahan tiang tersebut maka akan mendapatkan data setelah pemecahan beban sehingga dapat memahami hasil dari penambahan tiang untuk pemecahan beban terhadap penyulang.