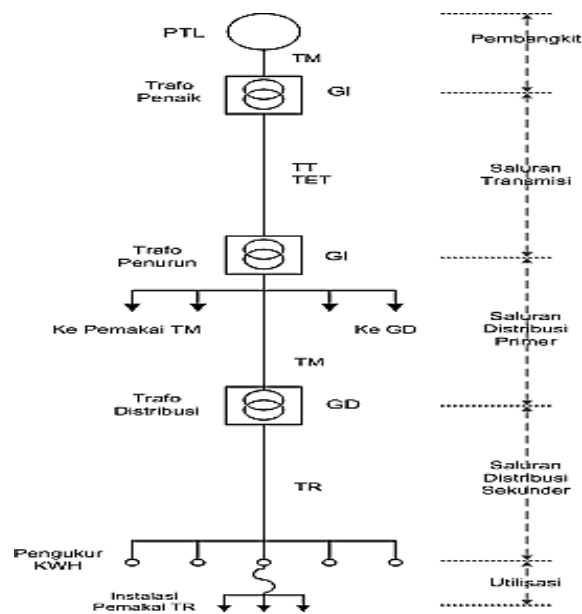


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Tegangan Menengah¹

Sistem Distribusi berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai menuju konsumen. Di mana fungsi Distribusi listrik yaitu membagi atau menyalurkan tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan). Distribusi listrik merupakan sub system tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Karena catu daya pada pusat-pusat beban dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan adalah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.



Gambar 2.1 Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik

¹Tambunan.,dkk.,2017. *Jurnal Energi dan Kelistrikan Vol.9*, Jakarta

2.2 Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah²

Berdasarkan jenis konstruksi jaringan tegangan menengah terbagi ke dalam tiga jenis, yaitu Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTTM), dan Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM).

- a. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) merupakan jaringan kawat tanpa isolasi yang terentang diudara yang disangga oleh tiang penyangga. Secara Umum SUTM digunakan pada daerah dengan kepadatan beban rendah seperti pedesaan dan kota kota kecil. SUTM memiliki jangkauan pelayanan yang luas, murah, dan mudah dibangun, tetapi tingkat keandalan penyaluran relatif rendah dan tingkat perawatannya tinggi



Gambar 2.2 Saluran Kabel Tegangan Menengah

- b. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) merupakan jaringan kabel yang berisolasi yang ditanam didalam tanah sepanjang jaringan. Secara umum, SKTM digunakan pada daerah dengan kepadatan beban tinggi seperti perkotaan. Jaringan penghantar SKTM memiliki tingkat keandalan yang tinggi.



Gambar 2.3 Saluran Kabel Tegangan Menengah

²Tambunan.,dkk.,2017. *Jurnal Energi dan Kelistrikan Vol.9*, Jakarta

2.3 Konfigurasi Jaringan Tegangan Menengah³

Jaringan Tegangan Menengah dikelompokkan menjadi menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (*Loop*), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster

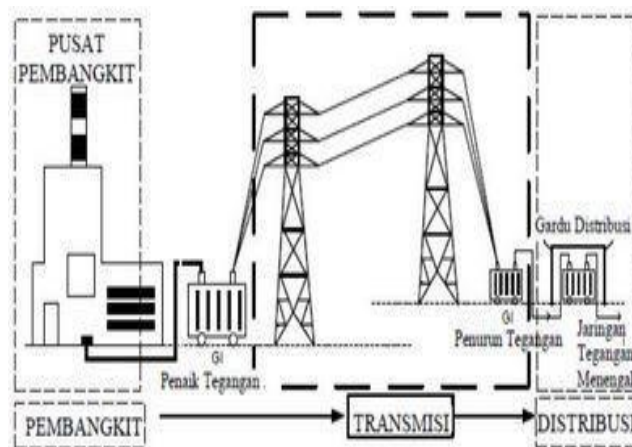
a .Landasan Teori

Pada umumnya pusat beban terletak lebih jauh dari pusat tenaga listrik. Keluaran dari pembangkit yaitu jaringan transmisi akan menyalurkan energi listrik. Jika tegangan pada generator pembangkit relative rendah (6 kV-24 kV), maka dengan tranformator daya akan menaikkan tegangan ke yang lebih tinggi antara 150 kV-500 kV. Peningkatan ini bertujuan untuk saluran penghantar daya akan semakin membesar, pada saluran transmisi akan memperkecil susut daya dan rugi daya.

Sebelum dilakukan penyaluran ke konsumen perlu adanya pada jaringan tegangan tinggi kan dilakukan penurunan tegangan yang dilakukan sebanyak dua kali. Pertama dilakukan pada gardu induk, pada gardu induk akan menurunkan tegangan yaitu 500 kV - 150 kV atau dari 150 kV - 70 kV. Pada penurunan tegangan yang terjadi pada gardu induk distribusi dari 150 kV k-20 kV atau 70 kV-20kV. Sedangkan energi listrik dari pembangkit hingga transformator akan disebut sebagai saluran transmisi dan dari transformator terakhir menuju konsumen

terakhir disebut dengan saluran pada distribusi/ saluran pada primer.

Saluran transmisi atau distribusi PLN terdapat dua macam yaitu saluran udara (*overhead lines*) dan saluran kabel bawah tanah (*underground cable*). Dari segi estetika, lebih direkomendasikan dikarna kan untuk mengurangi dampak dari faktor alam seperti hujan petir, angin, dan sebagainya. Tetapi anggaran yang akan di keluarkan efektif lebih mahal di banding kan saluran udara. Kemudian untuk kondisi daerah yang rawan banjir saluran kabel bawah tanah tidak direkomendasikan karena berbahaya bila terjadi gangguan.

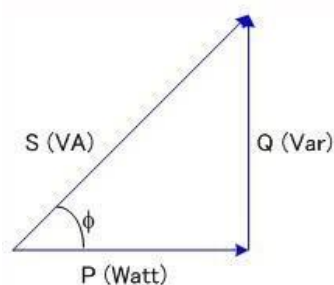


Gambar 2.4 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Daya listrik merupakan suatu yang digunakan untuk dunia kerja usaha, dimana arus bolak balik mempunyai sistem yang diketahui yaitu ada 3 jenis daya, yaitu :

1. Daya Semu (S), satuan: Volt Ampere (VA)
2. Daya Aktif (P), satuan: Watt (W)
3. Daya Reaktif (Q), satuan: Volt Ampere Reaktif (VAR)

Hubungan antar ketiga jenis daya ini dapat digambarkan dalam segitiga daya.



Gambar 2.5 Segitiga Daya Kompleks

➤ **Daya Semu**

Daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran penghantar yang ada pada jaringan transmisi maupun distribusi atau hasil penjumlahan daya aktif dan daya reaktif. Daya semu ini umumnya tertera di kWh meter. Dimana daya semu ini dibentuk oleh besaran tegangan yang dikalikan dengan besaran arus.

➤ **Daya Aktif**

Daya aktif (nyata) adalah daya yang akan di gunakan untuk menggerakkan suatu benda seperti gerakan motor listrik atau mekanik. dimana daya aktif ini pembentukan dari tegangan yang dikalikan dengan besarnya arus dan faktor daya nya.

➤ **Daya Reaktif**

Daya reaktif adalah daya yang tidak digunakan dalam tenaga listrik . karna suatu adanya daya reaktif maka sering dipengaruhi oleh beban induktif atau kapasitif suatu rangkaian listrik.

³Tambunan.,dkk.,2017. *Jurnal Energi dan Kelistrikan Vol.9*, Jakarta

2.4 Kajian Kelayakan Operasi Pecah Beban Penyulang⁴

Kajian Kelayakan Operasi adalah suatu langkah yang dilakukan sebelum melaksanakan suatu pekerjaan guna meminimalisir kerugian atau kegagalan saat pengoperasian pekerjaan yang di lakukan. Pada penyulang ,akan di laksanakan pemecahaan beban guna menanggulangi *Voltage Drop* atau tegangan jatuh yang terjadi dengan cara membagi beban penyulang menjadi 2 wilayah atau *MengUprating* kapasitas penghantar jaringan dengan cara mengganti kawat penghantar ke penampang yang lebih besar daya hantar arusnya. Semua alternatif kontruksi akan di mulai dari gardu hubung (GH). Berdasarkan hasil simulasi setelah di lakukan pecah beban pada penyulang, dengan menggunakan alternatif *Over shock* jaringan.



Gambar 2.6 Proses Pecah Beban Penyulang

⁴ Amu Ilham.,dkk.,2017.Kajian Kelayakan Operasi Pecah Beban Penyulang untuk Kehandalan Sistem Kelistrikan, Manado

2.5 Aliran Daya⁵

Studi aliran daya adalah suatu informasi yang didapatkan tentang aliran daya dan tegangan sistem dalam bentuk kondisi operasi lunak. Informasi ini dibutuhkan guna untuk mengevaluasi kerja tenaga listrik dari sistem dan menganalisa pembangkitan kondisi maupun pembebanan. Analisa ini memerlukan informasi aliran daya dalam kondisi normal maupun darurat. dalam sistem tenaga listrik, Analisis aliran daya memerlukan pemodelan komponen atau representasi sistem tenaga listrik.

Pada dasarnya Perhitungan aliran daya adalah menghitung sudut fasa setiap bus dan besarnya tegangan pada kondisi tunak dan dengan kondisi beban seimbang. Hasil ini perhitungan dilakukan mengukur daya reaktif dan daya aktif yang mengalir pada jaringan. Besarnya daya reaktif dan daya aktif pada jaringan ditentukan oleh daya yang dibangkitkan oleh pembangkit pada jaringan sehingga rugi rugi daya dapat diketahui. Perhitungan aliran daya untuk melihat daya dibangkitkan yang tersalurkannya, tidak oleh PLTA Koto panjang pada sistem tenaga. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bus. dalam sistem tenaga listrik Setiap bus dikelompokkan menjadi 3 bagian bus, yaitu:

- a. Bus beban (bus PQ), pada bus beban besaran variabel daya aktif dan daya Reaktif telah diketahui, sedangkan besar tegangan dan sudut phasanya dihitung.
- b. Bus generator (bus P-V), pada bus generator besaran variabel tegangan dan daya aktif telah diketahui, sedangkan sudut phasa tegangan dan daya reaktif dihitung.
- c. Bus ayun (swing/slack), pada bus ayun besaran variabel tegangan dan sudut phasanya telah diketahui, sudut phasa pada bus referensi menjadi acuan untuk sudut phasa tegangan pada bus yang lain. Konsep bus ayun dalam aliran beban berguna untuk menanggung seluruh rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan.

2.6 Keandalan Sistem Jaringan Distribusi⁶

Sistem Keandalan jaringan distribusi berhubungan dengan kualitas dan ketersediaan kebutuhan listrik untuk jaringan setiap jaringan pelanggan. Hasil dari analisa statistik tentang pada sistem distribusi menunjukkan bahwa telah mencapai kontribusi sekitar 90% dengan tersedianya kebutuhan beban. Kondisi ini memperlihatkan bahwa pentingnya akan evaluasi sistem keandalan distribusi. Keandalan itu sendiri memungkinkan suatu peralatan standarnya sesuai dalam bekerja dengan kondisi waktu selang.

Sehingga untuk membandingkan dapat menggunakan suatu peralatan keandalan atau sistem yang lainnya. Terdapat dua macam tentang evaluasi keandalan, yakni penilaian secara kuantitatif dan kualitatif. Selain itu ada beberapa faktor terhadap keandalan suatu sitem jaringan distribusi 20kv, yaitu :

Probabilitas, merupakan gangguan yang terjadi pada waktu yang tertentu pada sistem saluran. Waktu, merupakan lamanya suatu waktu saluran yang bekerjasesuai dengan fungsinya sehingga bekerja dengan baik. Terjadinya kegagalan bergantung dari semakin lama saluran itu digunakan.

Fungsi, keandalan sistem jaringan suatu komponen yang dapat di lihat dari suatu fungsinya yang bekerja secara baik dalam waktu tertentu. Perawatan yang tidak terencana akan mengakibatkan kegagalan fungsi dari komponen, dimana komponen ini bekerja dari suatu sistem yang memiliki tingkatan yang berbeda-beda. Kecukupan performansi, hal ini menunjukkan kontinuitas kriteria yang tidak mengalami gangguan pada sistem penyalur tenaga listrik.

Kondisi operasi, dari lokasi kerja kelembaban udara sangat mempengaruhi, suhu, pada saat getaran dapat menimbulkan pengaruh pada kondisioperasi.

Dengan keandalan untuk menentukan dari suatu sistem dengan melakukan pemeriksaan menggunakan perhitungan ataupun analisa terhadap tingkat keberhasilan kinerja dari operasi sistem yang ditinjau untuk selanjutnya dilakukan perbandingan sesuai ditetapkan standar . Keandalan sistem harus dapat menjaga kontinuitas dari penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan. Jika tenaga listrik tersebut mengalami gangguan seperti putus atau tidak tersalurkan maka akan mengakibatkan proses produksi dari pelanggan terganggu.

Dalam kondisi struktur jaringan dengan tegangan menengah memiliki peran penting untuk menentukan keandalan penyaluran tenaga listrik jaringan memungkinkan yang baik melakukan maneuver tegangan dengan mengalokasikan beban dan tempat gangguan dengan memindahkannya melalui jaringan lain. Kontinuitas dari pelayanan yang merupakan unsur dari kualitas pelayanan tergantung peralatan pengamanan tergantung pada jenis dan sarana penyalur. Jaringan distribusi yang menjadi sarana penyalur tenaga listrik memiliki susunan saluran tergantung pada saluran kontinuitas dan pengaturan operasinya. Tingkat kontinuitas ini ketika mengalami gangguan akan lamanya penormalan pada saat suplay setelah gangguan. Tingkatan tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Tingkat pertama: membutuhkan waktu yang lama Merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencari dan memperbaiki bagian gangguan yang rusak.
- b. Tingkat kedua : padam hanya membutuhkan beberapa jam
Merupakan waktu yang dibutuhkan dalam mengirim anggota/ petugas ke lokasi gangguan sehingga dapat menghidup kan sementara,kembali dari saluran atau arah yang lainnya.
- c. Tingkat ketiga : padam beberapa menit
Merupakan kondisi dimana manipulasi oleh petugas yang melakukan pengawasan di gardu atau melakukan pendeteksi dan pengukuran dalam melaksanakan manipulasi jarak jauh.
- d. Tingkat keempat : padam beberapa detik
Merupakan sebuah pengamanan atau memanipulasi secara otomatis.

e. Tingkat kelima : tanpa padam

2.7 Representasi Sistem Tenaga Listrik⁷

Sistem tenaga listrik pada suatu jaringan dibentuk dari beberapa komponen yang saling berkoordinasi untuk mengalirkan energi. Komponen ini yang kemudian diklasifikasikan dalam sistem pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Sehingga representasi suatu jaringan listrik dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Generator Sinkron

Generator sinkron sering di kaitkan secara langsung dengan bus bar atau dengan transformator terlebih dahulu, studi aliran daya memiliki tujuan yaitu karna perlu diketahui nilai aliran daya dan besar tegangan busbar ,oleh karna itu generator sinkron sebagai suatu sumber daya aktif dan daya reaktif. Akan di peroleh yaitu tegangan busbar dimana generator tersebut di hubungkan atau disambung.

2. Transformator

Pada transformator dilengkapi oleh tapping yang dapat diatur-atur, untuk mengubah atau mengatur tegangan busbar jika diperlukan. Perubahan posisi tap transformator menyebabkan faktor transformasi berubah. Transformator seperti ini memiliki admitansi yang tidak sama bila dilihat dari kedua sisinya

➤ Saluran Transmisi

Pada perhitungan dan keperluan analisis, pada saluran transmisi maka diagram saluran dapat dibagi menjadi tiga bagian klasifikasi berdasarkan panjang saluran yaitu

➤ Saluran Pendek (kurang dari 80 km)

Pada panjang ransisi di perkirakan lebih kurang dari 80 Km oleh karna itu di salurin menjadi saluran pendek. Pada saluran jenis ini efek kapasitansi parallel (shunt) nya sangat kecil sekali dan efek tersebut dapat diabaikan tanpa pengaruh yang berarti pada ketelitian perhitungan.

➤ Saluran Menengah (antara 80 – 240 km)

Pada dasarnya karakteristik tidak jauh berbeda dengan saluran pendek. Namun Efek kapasitansi pada saluran jenis ini harus diperhitungkan.

➤ Saluran Panjang (lebih dari 240 km)

Ketika menganalisis saluran yang panjang harus dengan ketelitian sehinggamendapatkan hasil yang baik. Pada parameter harus di perhatikan bahwa parameter tidak terpusat langsung menjadi satu,tapi bercabang atau terpisah secara merata sepanjang saluran.

➤ Beban (Load)

Pada beban system tenaga listrik untuk mempersentasikannya terdapat tiga cara yaitu :

- a. Beban direpresentasikan sebagai daya konstan. Di sini daya nyata (MW) dan daya reaktif (MVAR) dianggap konstan. untuk studi aliran beban Representasi ini dipakai.
- b. Beban direpresentasikan sebagai arus konstan. arus beban
- c. Beban direpresentasikan sebagai impedansi konstan. Pada kondisi saat ini sering di gunakan untuk merepresentasikan beban dalam studi stabilitas. Bila daya nyata (MW) dan reaktif (MVAR) diasumsikan diketahui dan menjaga agar besarnya (magnitude) tetap konstan maka impedansi Z.

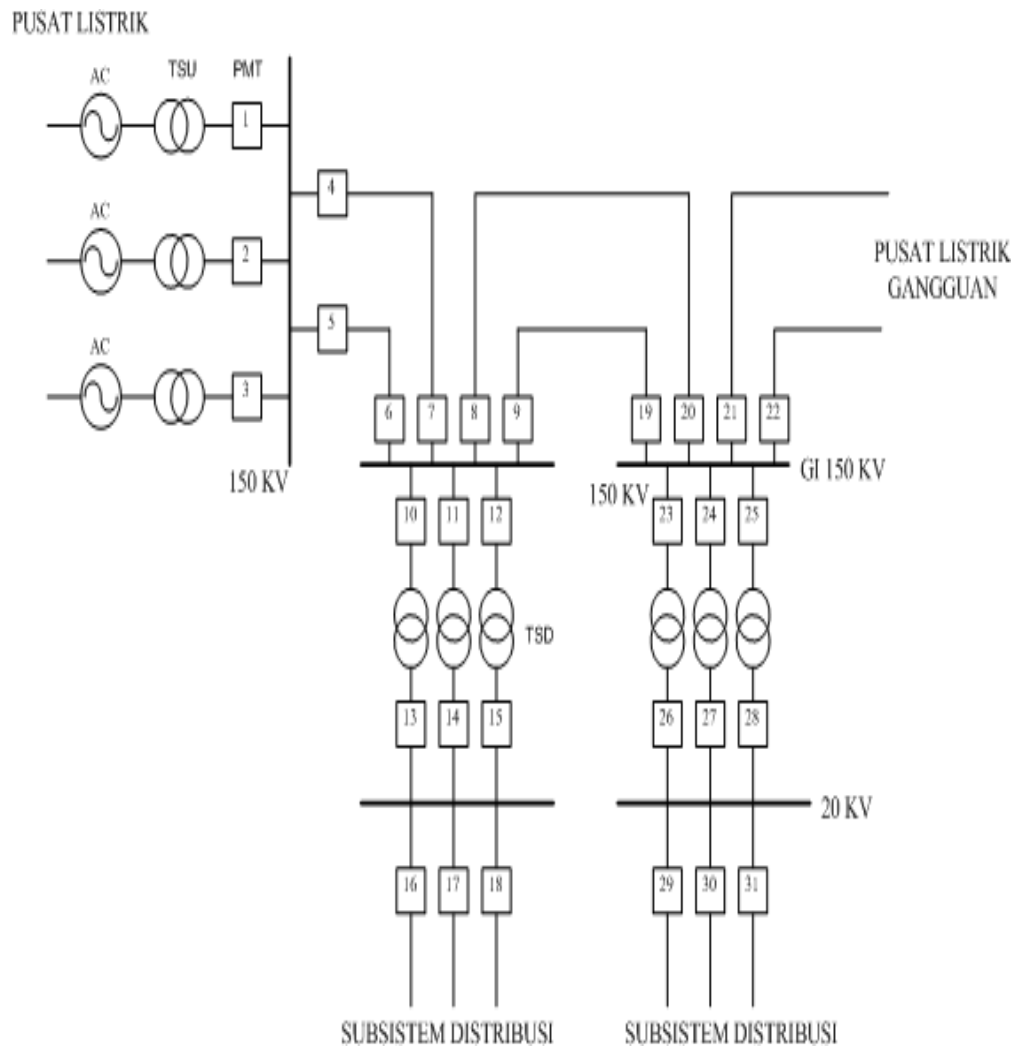
2.8 Studi Aliran Daya⁸

Pada sistem interkoneksi terdapat banyak pusat-pusat listrik yang besar di atas 100 MW,pada umumnya banyak pusat beban beroperasi dalam listrik (yang disebut gardu induk/GI) yang dihubungkan satu sama lain oleh saluran transmisi.

Pada GI jaringan distribusi yang bebannya terdapat dari melayani pelanggan tenaga listrik. Pada konsumen distribusi jaringan ini suatu subsistem distribusi dan subsistem dari setiap GI pada umumnya hubungan listrik satu sama lain tidak terhubung satu ke yang lain (interkoneksi).

Tujuan sistem interkoneksi dari antara lain adalah untuk menjaga

penyediaan kontinuitas tenaga listrik karena apabila pusat salah satu pembangkit masih mengalami gangguan dapat terhubung interkoneksi dari suplay pembangkit lain yang sudah terinterkoneksi. Tujuan lainnya adalah saling memperingan beban yang harus ditanggung oleh suatu pusat listrik.



Gambar 2.7 Simulasi Sistem Jaringan Interkoneksi

Gambar diatas sebagian menunjukkan dari sistem interkoneksi yang terdiri dari sebuah pusat listrik, dua buah GI beserta subsistem distribusinya.pada operasi pusat-pusat listrik dalam sistem interkoneksi karna saling mempengaruhi satu sama lain, maka adanya koordinasi operasi. Koordinasi operasi ini dilakukan oleh pusat pengatur beban. Koordinasi terutama meliputi:

- Koordinasi dalam pemeliharaan.
- Pembagian beban secara ekonomis.
- Pengaturan frekuensi.
- Pengaturan tegangan.
- Prosedur mengatasi gangguan

Meningkatnya pertumbuhan industri berdampak pada bertambahnya pertumbuhan beban dalam sistem tenaga listrik. Pertumbuhan beban tersebut diikuti dengan meningkatnya daya reaktif akibat beban induktif pada bus beban maupun pada saluran yang menyebabkan meningkatnya pemakaian daya reaktif. Daya reaktif yang naik menimbulkan rugi-rugi daya pada sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis aliran daya pada sistem tenaga listrik untuk menanggulangi rugi-rugi daya. Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang, Studi analisa aliran daya meliputi tiga langkah besar berikut pemodelan komponen sistem tenaga dan jaringan pembuatan persamaan aliran daya. Memecahkan persamaan aliran beban menggunakan teknik numerik. Tujuan dari analisis sistem tenaga adalah sebagai berikut: Untuk membuat model atau melakukan analisis fase komponen sistem tenaga. Untuk memantau tegangan pada bus yang berbeda, aliran daya nyata dan reaktif antar bus. Untuk merencanakan pengembangan di masa depan dari sistem saat ini

2.8.1 Perhitungan Kwh tidak tersalur akibat Pemadaman atau gangguan

Dimana rumus dalam perhitungan sebagai berikut :

$$P = \frac{(V \times I \times T)}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

V = Tegangan (Volt)

I = Arus dalam satuan ampere

T = Waktu (Sekon)

2.8.2 Perhitungan Kapasitas Penyaluran

Perhitungan kapasitas penyaluran di rumuskan dalam rumus sebagai berikut:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

V = Beban Puncak

I = Arus

$\cos\phi$ = Faktor Daya Beban

2.8.3 Penentuan Arus Tegangan Menengah

Perhitungan jatuh tegangan diawali dengan menghitung arus sisi TM dimulai dari titik pangkal penyulang sampai dengan ujung penyulang. Arus yang mengalir pada jaringan tegangan menengah tidaklah sama dari pangkal penyulang hingga ujung penyulang. Dengan menggunakan hukum kirchoff I, yaitu jumlah arus masuk sama dengan jumlah arus keluar. Jika ditulis dalam persamaan menjadi sebagai berikut.

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu system. Didalam dunia kelistrikan sering timbul persoalan-persoalan teknis, dimana tenaga listrik pada umumnya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu yang jauh dari kumpulan pelanggan. Kajian Kelayakan Operasi adalah suatu langkah yang dilakukan sebelum melaksanakan suatu pekerjaan guna meminimalisir kerugian atau kegagalan saat pengoperasian pekerjaan yang dilakukan.

⁵ Qolbi, Muh Khaidir., dkk., 2020. Analisis Pecah Beban Segmen pada Penyulang, Makassar

⁶ Qolbi, Muh Khaidir., dkk., 2020. Analisis Pecah Beban Segmen pada Penyulang, Makassar

⁷ Suza Gian., 2021. Perbaikan Tegangan Penyulang Melati dengan Metode Pecah Beban PT PLN (PERSERO), Jakarta

⁸ Prasetyanda Dhea Nabila., 201., Kajian Kelayakan Teknik Operasi Pembangunan Penyulang, Semarang

2.9 Keandalan Sistem Distribusi⁹

Keandalan dalam sistem distribusi adalah suatu ukuran ketersediaan/tingkat pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem ke pelanggan. Ukuran keandalan dapat dinyatakan sebagai seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi. Perkembangan teknik keandalan dimotivasi oleh beberapa faktor antara lain :

- a. Bertambahnya kompleksitas dan kerumitan sistem.
- b. Kesadaran dan harapan masyarakat tentang kualitas suatu produk.
- c. Hukum dan aturan mengenai kerusakan produk.
- d. Kebijakan pemerintah tentang spesifikasi kemampuan keandalan dan maintenance.

Penurunan keuntungan diakibatkan biaya yang besar dari kegagalan peralatan, perbaikan peralatan dan program jaminan. Sistem yang mempunyai keandalan tinggi akan mampu melayani beban yang dibutuhkan dan memiliki cadangan daya, sedangkan sistem yang mempunyai keandalan rendah memiliki ketersediaan daya yang rendah sehingga ketika beban puncak terjadi sistem sering mengalami pemadaman. Pada kondisi normal, sistem akan memberikan kapasitas yang cukup untuk menyediakan daya pada bebanpuncak dengan variasi tegangan yang baik. Menurut tim kajian perencanaan distribusi tenaga listrik, tingkatan keandalan dalam pelayanan terbagi tiga, yaitu:

1. Sistem dengan keandalan tinggi (High Reliability System)

Dalam keadaan darurat jika terjadi gangguan pada jaringan, maka sistem membutuhkan beberapa peralatan dan pengamanan yang cukup banyak untuk menghindari adanya berbagai macam gangguan pada sistem.

2. Sistem dengan keandalan menengah (Medium Reliability System)

Dalam keadaan darurat jika terjadi gangguan pada jaringan, maka sistem tersebut masih bisa melayani sebagian dari beban meskipun dalam kondisi beban puncak. Dalam sistem ini diperlukan peralatan yang cukup banyak untuk mengatasi serta menaggulangi gangguan-gangguan tersebut.

3. Sistem dengan keandalan rendah (Low Reliability System)

Jika terjadi gangguan pada jaringan, sistem sama sekali tidak bisa melayani beban tersebut. Jadi perlu diperbaiki terlebih dahulu, tentu saja pada sistem ini peralatan-peralatan pengamanannya relatif sedikit.

Kontinuitas penyaluran jaringan distribusi tergantung pada jenis dan macam sarana penyaluran dan peralatan pengaman. Sarana penyaluran mempunyai tingkat kontinuitas yang tergantung pada susunan saluran dan cara pengaturan sistem operasinya, yang pada dasarnya direncanakan dan dipilih untuk memenuhi kebutuhan dan sifat beban. Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyaluran disusun berdasarkan lamanya upaya menghidupkan kembali suplai setelah pemutusan karena gangguan. Tingkatan kontinuitas pelayanan terbagi 4, yaitu

Tingkat 1 Dimungkinkan padam berjam-jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan.

Tingkat 2 Padam beberapa jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisasi kerusakan dan melakukan manipulasi untuk menyalakan sementara kembali dari arah atau saluran yang lain.

Tingkat 3 Pada beberapa menit, yaitu manipulasi oleh petugas yang siap sedia di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh dengan bantuan DCC (Distribution Control Centre).

Tingkat 4 Padam beberapa detik, pengamanan dan manipulasi secara otomatis dari DCC (Distribution Control Centre) tanpa padam yaitu jaringan yang dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis secara penuh dari DCC (Distribution Control Centre).

Secara umum keandalan didefinisikan juga sebagai kemungkinan (Probability) dari suatu sistem yang mampu bekerja sesuai dengan kondisi operasi tertentu dalam jangka waktu yang ditentukan, dengan kata lain keandalan disebut juga dengan kecukupan atau ketersediaan (availability). Keandalan memiliki sifat non deterministik (terjadi secara kebetulan) tapi probabilistik (sesuatu yang bersifat acak, tidak pasti, namun dapat dianalisa dengan teori probabilitas). Dalam mendefinisikan keandalan terhadap gangguan terdapat empat faktor yang memegang peranan penting yaitu:

1. Kemungkinan (Probability) Angka yang menyatakan berapa kali gangguan terjadi dalam waktu tertentu pada suatu sistem atau saluran.
2. Bekerja Dengan Baik (Performance) Menunjukkan kriteria kontinuitas suatu saluran sistem penyaluran tenaga listrik tanpa mengalami gangguan.
3. Periode Waktu Periode waktu adalah lama suatu saluran bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya. Semakin lama saluran digunakan, maka akan semakin banyak kemungkinan terjadinya kegagalan.
4. Kondisi Operasi Kondisi operasi yang dimaksud disini adalah keadaan lingkungan kerja dari suatu jaringan seperti pengaruh suhu, kelembaban udara dan getaran yang mempengaruhi kondisi operasi.

2.9.1 Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Keandalan

Faktor-faktor yang mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi sesuai standar IEEE P1366 antara lain[3]:

1. Pemadaman/Interruption of Supply: terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, akibat dari salah satu atau lebih komponen mendapat gangguan.
2. Keluar/Outage: keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu outage dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih tergantung pada konfigurasi sistem.
3. Lama Keluar/Outage Duration: periode dari saat permulaan komponen mengalami outage sampai saat dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
4. Lama Pemadaman/Interruption Duration: waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai saat menyala kembali.
5. Jumlah total konsumen terlayani/Total Number of Costumer Served: jumlah total konsumen yang terlayani sesuai dengan periode laporan terakhir.
6. Periode laporan: periode laporan diasumsikan sebagai satu tahun.

2.9.2 Laju Kegagalan (Failure Rate)

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau sistem. Laju kegagalan terhadap waktu.

Laju kegagalan dalam beberapa kasus dapat ditunjukkan sebagai penambahan atau increasing failure rate (IFR), sebagai penurunan atau decreasing failure rate (DFR), dan sebagai konstan atau constant failure rate (CFR), pada saat fungsi laju kegagalan $\lambda(t)$ adalah fungsi penambahan, penurunan atau konstan.

Konsep laju kegagalan dilatarbelakangi oleh banyak komponen atau sistem rekayasa yang ternyata menunjukkan perilaku $\lambda(t)$ mengikuti kurva bak mandi (bathtub curve)

1. Masa Awal (Burn-in)

Pada periode 0 sampai dengan t_1 (permulaan bekerjanya peralatan), kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu atau disebut sebagai decreasing failure rate (DFR). Laju kegagalan $\lambda(t)$ menunjukkan gejala menurun akibat kegagalan dini. Kegagalan tersebut diakibatkan kerusakan dalam manufaktur, retak saat pengelasan, patah, adanya kontaminasi, dan rendahnya kualitas pengendalian.

2. Masa Berguna (Useful Life)

Pada periode t_1 dan t_2 laju kerusakan cenderung tetap atau disebut constant failure rate (CFR). Periode ini biasanya dikenal sebagai useful life period. Komponen menunjukkan $\lambda(t)$ yang kurang lebih konstan.

3. Masa Aus (Wearout)

Pada periode setelah t_2 menunjukkan bahwa laju kerusakan meningkat dengan bertambahnya waktu atau disebut dengan increasing failure rate (IFR). Fungsi laju kegagalan $\lambda(t)$ menunjukkan peningkatan dimana peluang kegagalan komponen selama interval waktu yang sama menjadi bertambah besar. Kegagalan ini diakibatkan oleh penuaan, korosi, gesekan, sehingga disebut fase pengausan (wearout).

2.9.3 Indeks Keandalan

Indeks keandalan merupakan formula untuk menentukan tingkat keandalan dari suatu jaringan distribusi listrik. Indeks keandalan ini terdiri dari indeks gangguan tetap (Sustained Interruption Indices) dan indeks gangguan sementara (Momentary Interruption Indices). MTTF (Mean Time to Failure) adalah dasar dari perhitungan keandalan untuk kegagalan system sedangkan MTTR (Mean Time to Repair) adalah waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan sebuah modul peralatan secara matematis. Indeks Gangguan Pemadaman Tetap (Sustained Interruption Indices) Suatu gangguan dinyatakan gangguan tetap jika gangguan terjadi dalam waktu lebih dari lima menit (>5 menit).

2.9.4 Kegunaan Indeks Keandalan

Kegunaan dari indeks keandalan sistem kegunaan dari informasi indeks keandalan sistem adalah sangat luas. Ada beberapa kegunaan yang paling umum yaitu:

1. Melengkapi manajemen dengan data capaian mengenai mutu layanan pelanggan pada sistem listrik secara keseluruhan.
2. Untuk mengidentifikasi sub sistem dan sirkit dengan capaian dibawah standar untuk memastikan penyebabnya.
3. Melengkapi manajemen dengan data capaian mengenai mutu layanan pelanggan untuk masing-masing area operasi.
4. Menyediakan sejarah keandalan dari sirkit individu untuk diskusi dengan pelanggan sekarang atau calon pelanggan.
5. Memenuhi syarat pelaporan pengaturan.
6. Menyediakan suatu basis untuk menetapkan ukuran-ukuran kesinambungan layanan.
7. Menyediakan data capaian yang penting bagi suatu pendekatan probabilistik untuk studi keandalan sistem distribusi.

⁹MardiansyahFajri.,2018. *Evaluasi Peningkatan keamdalan Distribusi*, Medan

2.10 Jaringan Distribusi¹⁰

Jaringan distribusi merupakan salah satu bagian dari suatu system tenaga listrik yang terletak paling dekat dengan pelanggan. Jaringan distribusi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk ke pelanggan. Permasalahan utama pada jaringan distribusi adalah banyaknya gangguan yang sering terjadi. Intensitas gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi lebih banyak dari pada gangguan di bagian system tenaga listrik yang lain.

Permasalahan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik dari gardu induk ke pelanggan. Tingkat kontinuitas pelayanan tenaga listrik setiap jaringan distribusi berbeda-beda tergantung jenis jaringan distribusi yang diterapkan. Berdasarkan bentuk jaringan, jaringan distribusi dapat di bedakan menjadi beberapa jenis:

1. Sistem radial terbuka.
2. Sistem radial paralel.
3. Sistem rangkaian tertutup.
4. Sistem network.
5. Sistem interkoneksi.

2.10.1 Sistem radial terbuka

Jaringan distribusi system radial terbuka, merupakan suatu jaringan distribusi yang paling sederhana dan murah. Pada system radial terbuka, tenaga listrik disalurkan secara radial dari gardu induk ke pelanggan. Sistem radial terbuka merupakan jenis jaringan distribusi dengan tingkat keandalan yang rendah karena penyaluran tenaga listrik hanya dilakukan pada satu saluran. Pada saat terjadi gangguan disaluran maka pelayanan tenaga listrik ke pelanggan akan terputus.

Keuntungan system radial terbuka:

1. Konstruksi sederhana.
2. Dapat digunakan pada penyaluran jarak pendek.

Kelemahan system radial terbuka:

1. Tingkat keandalan system rendah.
2. Semakin panjang saluran, keandalan semakin berkurang.

3. Rugi-rugi tegangan lebih besar.
- 4 .Kapasitas pelayanan terbatas.

2.10.2 Cara Meningkatkan Indeks Keandalan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Brown, peningkatan pada indeks keandalan sistem distribusi dapat dicapai dengan beberapa cara, yaitu:

1. Penambahan Peralatan Pemisah (Increased Reclosing Devices)

Hal ini dilakukan dengan cara meletakkan peralatan proteksi berupa saklar penutup (normally closed) pada penyulang. Dengan menambahkan peralatan proteksi seperti fuse dan recloser dapat menurunkan jumlah konsumen yang terganggu akibat terjadinya gangguan. Penambahan saklar dengan memiliki kemampuan dalam menghapus gangguan dapat meningkatkan keandalan yang semakin fleksibel ketika gangguan sedang terjadi selama sistem rekonfigurasi. Penambahan Jumlah peralatan pemisah akan mengurangi jumlah konsumen yang terganggu. Pada saat terjadinya gangguan permanen, recloser berfungsi memisahkan daerah atau jaringan yang terganggu secara cepat sehingga dapat memperkecil daerah yang terganggu. Pada saat terjadinya gangguan sesaat, recloser akan memisahkan daerah gangguan secara sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, dengan demikian recloser akan masuk kembali sesuai settingannya sehingga jaringan akan aktif kembali secara otomatis.

2. Tie Point Baru (New Tie Points)

Tie Points adalah saklar terbuka (normally open) yang memperbolehkan sebuah penyulang terhubung dengan penyulang lainnya. Penambahan tie points dapat meningkatkan jumlah transfer daya dan merupakan cara yang ekonomis untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi pada suatu penyulang dengan kemampuan transfer daya yang rendah. Sistem Open Loop merupakan pengembangan dari sistem radial dengan penambahan tie line, sebagai akibat diperlukannya keandalan yang lebih tinggi dan umumnya sistem ini dapat dipasang dalam satu gardu induk. Dimungkinkan juga dari gardu induk lain tetapi harus dalam satu sistem di sisi tegangan tinggi karena hal ini diperlukan untuk

memudahkan manufer beban pada saat terjadi gangguan atau kondisi-kondisi pengurangan beban. Proteksi untuk sistem ini masih sederhana tetapi harus memperhitungkan panjang jaringan pada titik manufer terjauh di sistem tersebut. Sistem ini umumnya banyak digunakan di PLN baik pada saluran udara tegangan menengah maupun saluran kabel tegangan menengah.

3. Peningkatan Jalur Transfer (Transfer Path Upgrade)

Jalur transfer adalah jalur alternatif untuk melayani beban ketika gangguan telah dihapus. Jika sebuah jalur transfer memiliki kapasitas yang terbatas karena memiliki penghantar yang kecil, dengan menggantikan penghantar dengan ukuran yang lebih besar dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi.

4. Pemasangan Distributed Generation (DG)

Menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik. IEA (2002) mendefinisikan Distributed Generation sebagai unit-unit yang menghasilkan energi pada sisi konsumen atau dalam jaringan distribusi lokal. Dengan perubahan struktur energi listrik yang terus berkembang, saat ini DG telah dimanfaatkan sebagai pembangkitan siaga yang memberi keuntungan pada sistem tenaga listrik sebagai sumber energi pada saat beban puncak, kehilangan daya pada sistem dan meningkatkan kualitas daya para konsumen. Beberapa perkembangan terus dilakukan dan membuat DG tidak hanya mungkin dilakukan tetapi suatu potensi yang diharapkan dalam upaya peningkatan keandalan.

5. Otomasi Penyulang (Feeder Automation)

Saklar yang dikontrol oleh SCADA pada penyulang lebih cepat dalam menganalisa gangguan dari pada saklar yang bekerja dengan cara manual, hal ini memungkinkan pelanggan mengalami gangguan sesaat daripada gangguan menetap. Konfigurasi sistem SCADA secara umum.

¹⁰ DaliWahyuniSri.,dkk.,2020. *Analisa Pemecahan Penyulang, Malang*

2.11 Pengertian Distribusi Tenaga Listrik¹¹

Distribusi tenaga listrik ialah grup unit sistem tenaga listrik bertugas untuk mengirimkan listrik dari pembangkit yang berdaya besar atau disebut Bulk Power Source hingga diterima pelanggan. Berikut peranan distribusi tenaga listrik:

1. Penjurusan dan distribusi energi listrik ke beban.
2. Bagian persisteman tenaga listrik secara penempatan langsung terhubung ke konsumen. Sebab suplai listrik di bagian setral pelanggan / beban secara langsung terhubung ke jaringan distribusi

Sistem pembangkit tenaga listrik (PLTA, PLTS, PLTU dan lain – lain) menghasilkan listrik dengan tegangan dari 11kV - 24kV lalu tegangannya dinaikan di gardu induk menggunakan trafo *step-up* tegangan naik jadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV setelah itu dikirim ke jaringan transmisi listrik. Maksud dari tegangan yang dinaikan adalah menurunkan susut daya listrik (Watt) di penyulang. Susut *electrical power* disini ialah sesuai rumus rugi - rugi ($I^2.R$). Daya listrik sama besarnya jika V (Volt) kita dinaikan, maka I (Ampere) yang pada penyulang bisa kecil nilainya diperoleh-lah susut daya yang nilainya kecil.

Pada jaringan listrik transmisi nilai V (Volt) turun tegangannya jadi 20 kV menggunakan trafo *step-down* di gardu distribusi listrik. Dari Gardu Distribusi unit tegangan tenaga listrik tadi disalurkan melalui jaringan primer distribusi. Di jaringan primer distribusi pada gardu tegangan tadi turun tegangannya melalui transformator distribusi berubah jadi sistem tegangan rendah 220/380Volt sesuai tegangan standar distribusi PLN. Kemudian energi listrik disalurkan melalui sistem jaringan distribusi sekunder ke pelanggan - pelanggan. Melalui penjelasan tadi diketahui jika sistem distribusi adalah salah satu unit terpenting secara keseluruhan pada sistem tenaga listrik.

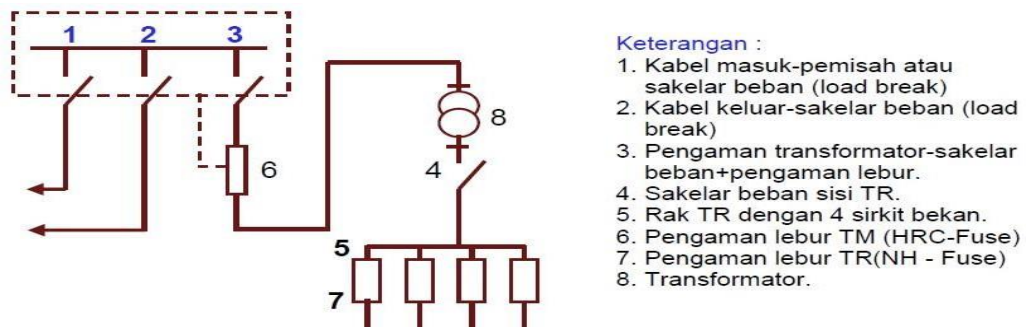
2.11.1 Gardu Distribusi

Gardu kelistrikan umumnya merupakan rangkaian alat - alat hubung bagi seperti panel hubung bagi TM dan panel hubung bagi TR. Dimana tiap alat ini dilengkapi perangkat - perangkat dengan fungsi kendali dan proteksi. Macam - macam gardu distribusi dirancang sesuai keinginan dan intensi digunakannya.

Berikut adalah macam - macam gardu distribusi:

1. Gardu Distribusi konstruksi beton (Gardu Beton)

Merupakan gardu distribusi konstruksi beton dimana bangunan pelindung gardunya merupakan beton yaitu bahan pencampuran semen, batu serta pasir. Gardu konstruksi beton merupakan gardu jenis pasangan dalam. Termasuk gardu pasang dalam karena pada perletakan peralatan semuanya baik pemisah/penghubung dan trafo terletak di dalam bangunan. Saat pembangunan gardu alat – alat di dirancang untuk di pasang agar cocok dengan lokasi serta besar bangunan untuk dirancangan bangunan konstruksi beton.



Gambar 2.8 Bagan Satu Baris Gardu Beton



Gambar 2.9 Bangunan Gardu Distribusi Konstruksi Beton

2. Gardu Distribusi konstruksi *metal clad* (Gardu besi).

Gardu distribusi konstruksi *metal clad* yaitu gardu dibuat menggunakan disain bangunan pelindung berkonstruksi *metal*. Gardu besi juga merupakan unitgardu pasang dalam, hal ini dikarenakan peralatan - peralatan terletak di dalam bangunan

baik peralatan penghubung / pemisah dan transformator-nya. Tiap instrument gardu sudah di terpasang dalam bangunan *metal clad* (besi), nanti saat peroses pekerjaan pembangunannya hanya perlu merancang pondasi konstruksi gardunya.

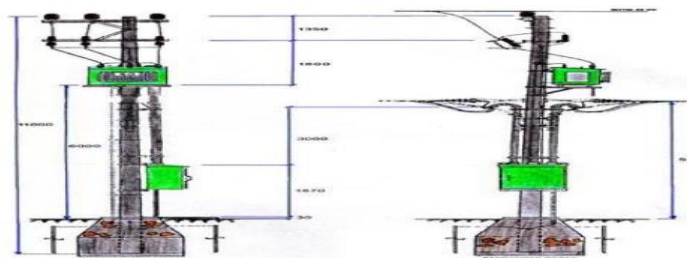
3. Gardu Distribusi tipe tiang

a. Gardu Distribusi tipe tiang portal

Gardu jenis tiang adalah jenis gardu dimana konstruksi pelindung/ penyangganya berupa tiang dan trasformator distribusi diletakan pada atas tiang. Sebab transformator distribusi diletakan ditempatkan pada atas tiang, oleh sebabitu gardu tiang cuman bisa memasok listrik terbatas ke pelanggan. Hal ini karena transformator punya bobot yang lumayan berat maka kita tidak bisa untuk memasang transformator kapasitas besar pada tiang (ketentuan ± 5 m di atas tanah). Pada gardu distribusi tipe tiang dibolehkan dipasang trafo 1 fasa maksimum kapasitasnya adalah 50 KVA (Kilo Voltage Ampere). Kapasitas Trafo 3 fasa maksimum 160 KVA (200 kVA) dibolehkan untuk gardu tiang. Gardu distribusi tiang tipe portal dilengkapi instrument tegangan rendah distribusi yangberada pada posisi bawah tiang dan perlengkapan pengaman.

b. Gardu Distribusi tipe tiang cantol (Gardu Tiang)

Gardu tipe ini merupakan gardu distribusi dimana transformator dipasangsecara di cantol ke badan tiang berkekuatan minimal 500 Pa untuk tiap tiangnya. Pemasangan gardu tipe ini bisa untuk satu panel PHB TR memiliki 2 jurusan serta CSP – Transformator yaitu trafo yang dilengkapi pengaman sendiri, 1 Cut out fused, dan 1 proteksi sambaran petir. Dibawah ini adalah gambar contoh sketsa banguna gardunya:



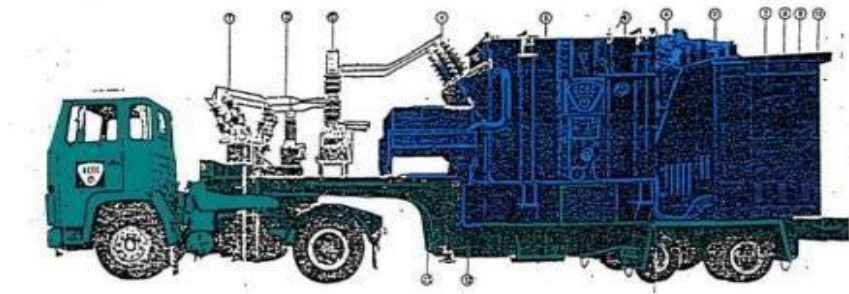
Gambar 2.10 Gardu Distribusi Tipe Tiang Cantol (Gardu Tiang)

4. Gardu Distribusi mobil

Gardu distribusi mobil ialah tipe gardu listrik dimana kostruksi peroteksinya didisain berbentuk mobil (berada di mobil), hal ini dilakukan agar mudah untuk dipindah – pindah gardunya sesuai keinginan (Suhadi, 2008). Gardu tipe ini biasanya digunakan jika ada keadaan teraha temporer. Digunakan saat menangani masalah suplai energi listrik yang bersifat darurat (sesaat). Berikut macam – macam bentuk gardu mobil:

- a. Berbentuk mobil boks atau gardu mobil pasang dalam yaitu tipe mobil gardu yang semua peralatan-peralatan gardu diletakkan di dalam bangunan besi.
- b. Bentuk mobil gardu listrik pasang luar merupakan gardu dipasang letaknya pada *trailer car* dibagian atasnya. Sehingga konstruksinya punya ukuran panjang lumayan dengan instrument PHB, proteksi dan transformator ditempatkan diluar dan langsung terlihat.

dibawah ini menunjukkan sebuah konstruksi gardu distribusi mobil jenis pasangan luar yang ditempatkan *trailer mobil* bagian atas. Gardu distribusi jenis trailer pada umumnya memiliki kapasitas tinggi ketimbang dengan bentuk gardu mobil lain karena konstruksi peralatan penghubung yang digunakan.



Gambar 2.11 Gardu Mobil

Deskripsi gardu tipe mobil:

1. Disconnect switch
2. Lighting arrester
3. Disconnected instrumen
4. Isolator
5. Transformator

6. Tap changer
7. PHB TR
8. Control contact
9. Support Trafo
10. Nikad Baterei
11. Disconnect switch
12. Multiple shafts
13. Equipment warehouse

Sistem pengaman yang digunakan pada gardu distribusi secara umum terdiri dari arrester untuk mengantisipasi tegangan lebih (*over voltage*), Timbulnya angka Ampere listrik yang tinggi pada suatu keadaan maka saklar akan memutusrangkaian pada posisi fuse cut out, serta kegunaan dari kawat pentanahan digunakan menormalkan volume yanga besar dan proteksi saluran phasa dari arus petir. Untuk gardu tipe mobil ini dibagi berdasarkan tipe menjadi dua yaitu:

- a. Tipe gardu mobil kios
- b. Tipe gardu mobil trailer

2.11.2 Perangkat hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR)

Panel hubung bagi tegangan listrik rendah atau sering di sebut rak-TR merupakan suatu komponen dari gardu distribusi Tegangan 220 volt pada pelanggan. Instrumen hubung bagi ini merupakan gabungan dari alat kontrol, conector, protection dan berbagai alat PHB-TR. Semua alat ini susun komplit bersama di bagian penyangga sesuai kawat dan mekanisnya (Tri Joko Pramono, 2017). Fungsi dari rak-TR yaitu sebagai alat PHB instrumen listrik pada sisi beban di pelanggan. Daya tampung pada rak-TR yang dipakai harus disetarakan besarnya pada kapasitas transformator distribusi dipasang pada gardu tersebut. Rak-TR mencakup aspek – aspek yang kemudian bertugas menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen. Rak tegangan rendah menggunakan kabel *single core* diameter 240 mm² dihubungkan dengan transformator distribusi sisi sekunder.

Kegunaan PHB tegangan rendah ialah untuk penyambung dan pemisah serta Penyaluran keluaran energi listrik dari Transformator sekunder kepada rel pembagi.

Lalu dilanjutkan menggunakan kabel jurusan (*opstyg cable*) kepada jaringan tegangan rendah (JTR) pengamanannya NH Fuse akan dipasang pada jurusan masing-masing. Agar gardu distribusi lebih efisiensi dilakukan dengan melakukan penekanan susut jaringan (*losses*) Unit PT.PLN memilih keputusan kebijaksanaan melepas (tidak beroperasi) rangkaian pengukuran dan juga rangkaian kontrolnya.

Bertujuan untuk mengurangi Energi listrik yang akan melewati alat multitester ataupun alat kendali kemudian tersisih karena dipergunakan dalam keperluan kendali dan pengukuran secara berkepanjangan. Dalam mengukur tingginya beban ataupun tegangan dikerjakan pengukuran ketika di inginkan saja dengan menggunakan alat ukur tang ampere, multitester, atau AVO meter.



Gambar 2.12 PHB TR 4 Indoor Jurusan PLN

Komponen-komponen pada PHB-TR antara lain:

1. *Framework low voltage rack*
2. *Main saklar*
3. Rel Tembaga
4. *Main NH fuse*
5. NH Fuse jurusan
6. Lampu Kontrol / Indikator
7. *Rail support isolator*
8. *Measuring circuit*
9. Multimeter

10. *Current Transformator*

11. *Grounding*

2.11.3 Jaringan tegangan rendah (JTR)

JTR atau jaringan TR ialah Unit akhir pada kerja penyaluran listrik disisi distribusi. Sistem JTR ini berawal pada GD (gardu distribusi) dengan jaringan radial sebagai kontruksinya. Melalui JTR tenaga listrik disalurkan ke konsumen/pelanggan PLN. Jarak pelayanan jaringan tegangan rendah kurang lebih 350 meter dengan ketentuan standar tegangan (voltage) pelayanan ditentukan + 5% dan – 10% dari tegangan nominalnya. Berdasarkan penempatan jaringan tegangan rendah di bedakan menjadi:

1. Saluran udara tegangan rendah (SUTR)

SUTR ialah jenis konduktor saluran listrik yang ditaruh di udara (atas tiang). Penghantar yang digunakan dibagi menjadi penghantar udara tanpa isolasi dan kabel sebagai isolasinya. Konduktor hantar SUTR tanpa isolasi mempunyai berbagai macam kelemahan contohnya kurang tahan terhadap pembajakan listrik serta jika ada gangguan baik antar fasa ataupun *netral to fasa* penghantarnya kurang tahan. Tetapi ia punya biaya yang murah dan lebih gampang diperoleh lalu mudah dalam penurunan gangguanya sedangkan untuk konduktor yang punya isolasi punya kelebihan serta kelemahan berbanding terbalik dengan yang tidak berisolasi. Pada saat sekarang penghantar udara tanpa isolasi sudah tidak dikembangkan lagi.

Untuk saluran kabel udara tegangan rendah banyak dimanfaatkan yang berjenis XLPE atau juga punya nama LVTC kabel pilin tegangan rendah. Tipe kabel XLPE ditempatkan dengan direntang antara peyangga tiangnya. Main unit antara lain kabel, tiang, dan SCB bekerja sebagai penahan kabel ditiang. Saluran XLPE umumnya paling sering untuk pemasangan jaringan dengan tegangan sisi beban 220V karena dianggap efisiensi. sedangkan untuk konduktor yang punya isolasi punya kelebihan serta kelemahan berbanding terbalik dengan yang tidak berisolasi. Pada saat sekarang penghantar udara tanpa isolasi sudah tidak dikembangkan lagi.

Tabel 2.1 KHA Kabel Berisolasi XLPE Pada Tegangan 12kV/29kV/24kV

Jenis Kabel	Penampang Nominal	Di Udara	Di Dalam Tanah
NAAXSEY	95 mm ²	242 A	214 A
Multicore	150 mm ²	319 A	272 A
	240 mm ²	425 A	358 A
	300 mm ²	481 A	348A
	NFAAXSEY-T	3 × 50 + N	134 A
Twisted Cabel	3 × 70 + N	163 A	
	3 × 95 + N	203	
	3 × 120 + N	234	

2. Saluran kabel tanah tegangan rendah (SKTR)

SKTR ialah tipe saluran konduktor kabel dimana tempatnya diposisikan di tanah yaitu untuk tujuan keindahan, oleh sebab itu jenis penghantar ini biasanya digunakan di perkomplekan atau pemukiman serta area perusahaan dan bisnis. Penghantar kabel ini juga dilengkapi *metal protection*, dengan isolasi PVC dan *core* yang digunakan biasanya CU atau AL.

Keuntungan dari kabel jenis ini adalah kerapuhan sehingga estetika lebih indah, dan tidak terpengaruh oleh cuaca luar. Kekurangan dari kabel ini ialah jika terjadi gangguan maka akan sulit untuk deteksi lokasi gangguan terjadi dan akan sulit untuk mengungkap jika terjadi pencurian listrik dengan cara suntik kabel dibawah tanah maka.

2.11.4 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah kondisi dimana pada penghantar yang dilalui energi listrik terjadi kehilangan tegangan selama proses penyaluran hingga diterima pelanggan PLN. Tingginya jatuh tegangan bisa dinyatakan dengan bentuk besaran volt maupun dalam persen (%). Tingginya jangkauan bawah dan atas ditetapkan

melalui wewenang pihak perusahaan kelistrikan PT-PLN (Persero) dikontrol tegangan *drop voltage regulation* di standard PLN No.72;1987 yang mana tegangan drop yang dianjurkan oleh jaringan tegangan menengah ialah 2% sesuai tegangan kerja saat sistem Spindle juga 5% pada sistem tegangan kerja bagi sistem bentuk radial permukaan tanah dan sistem simpul sesuai kepadatan pada bebannya.

Perincian pada jatuh tegangan dilaksanakan ketika keadaan tegangan terkira hanya melalui perhitungan tingginya resistansi dalam keadaan yang diperhitungkan. Tapi untuk sistem tegangan menengah masalah induktansi yang mencakup sistem jaringan khususnya dan ikut diperkirakan tahanannya karena sifatnya tergolong cukup penting. Perbandingan nilai tegangan jika terjumlah melewati batas tumpuan yang telah ditetapkan PLN akan menyebabkan rendah/buruknya kadar penyaluran. Nilai jatuh tegangan atau *drop voltage* yang disebut juga nilai jatuh tegangan yang berlangsung dalam jaringan listrik bisa dipicu melalui beberapa penyebab antara lain:

1. Jarak kabel penghantar yang digunakan jika memiliki panjang yang sangat panjang akan mengakibatkan naiknya nilai kerugian tegangan yakni drop voltage yang akan terjadi.
2. Besar arus yaitu semakin meningkatnya arus (ampere) yang lewat dipenghantar mengakibatkan semakin meningkatnya drop voltage. Jika ukuran penampang pada konduktor yang dipasang ke sistem berukuran besar tegangan akan turun menjadi drop voltage.
3. Resistansi jenis (Rho) jika meningkatnya nilai resistansi jenis bahan penghantar yang digunakan, akan meningkatkan nilai drop voltagenya juga. Gabungan dari tahanan dan reaktansi dalam nama lain adalah impedansi (z) dalam satuan ohm.

Menghitung *drop voltage* di sistem saluran distribusi listrik ialah nilai tegangan hasil pengurangan tegangan pada sisi suplai dengan tegangan sisi pelanggan pada ujung jaringan. Standar tegangan yang sudah ditetapkan PT.PLN (SPLN), dimana dalam merancang jaringan dibuat agar *drop voltage* pada ujung diterima 5% tidak lebih. Tegangan jatuh di jaringan listrik disebabkan karena faktor *drop voltage* disebabkan karena ada nilai hambatan dan reaktansi yang besar. *Drop voltage* di salah satu saluran punya Z (ohm) atau impedansi serta arus (Ampere).

Pada unit ini dibahas apa yang disebut dengan drop voltage (ΔV) ialah nilai hasil pengurangan tegangan sisi kirim (V_s) dengan tegangan sisi pelanggan (V_r), sehingga rumus drop voltage ini dijabarkan.

Oleh sebab ada nilai tahanan yang besar tegangan yang terkirim ke pelanggan akan turun dan kecil. Maka membuat jatu tegangan (*Voltage drop*) bisa dikatakan adalah hasil pengurangan tegangan suplai dipembangkit dengan tegangan terukur di ujung sisi pelanggan listrik PLN (Persero). Drop voltage umumnya disebut regulasi tegangan atau *Voltage Regulation*.

2.11.5 Susut (*Losses*)

Pengertian susut atau *losses* dijabarkan sesuai Pernyataan SK Menkeu Nomor: 431/KMK.06/2002, menyatakan: "Susut (*losses*) adalah sejumlah energi yang hilang dalam proses pengaliran energi listrik mulai dari Gardu Induk sampai dengan konsumen. Apabila tidak terdapat gardu induk, susut (*losses*) dimulai dari gardu distribusi sampai dengan konsumen". Sesuai dengan kebijakan dari Direksi PT. PLN (Persero) No.217-1.K/DIR/2005 mengenai arahan penggarapan laporan Neraca Energi (Kwh). "Bagian susut (*losses*) energi listrik bisa dibagi sesuai dengan sifatnya yang ada dua yakni susut teknis dan non-teknis (Ervianto, 2016).

Terhadap penghantar maupun transformator dapat mengalami susut teknis. Penghantar dapat mengalami susut teknis karena terdapatnya resistansi pada penghantar itu yang telah dilalui arus dengan nilai yang tergantung resistansinya. Susut non teknis ialah susut yang terjadi karena kesalahan yang berasal di luar sistem kelistrikannya seperti akibat bencana alam gempa, banjir, atau angin topan. Berikut adalah factor penyebab *losses* teknis:

1. Saat penampang tidak pas dengan resistansi artinya luas penampang tergolong kecil. Karena mengecilnya penampang penghantar maka meningkatlah rugi yang terjadi.
2. Terlalu panjangnya jarak jaringan dapat mengurangi aliran listrik. Panjangnya jarak pada jaringan memicu penurunan tegangan.

3. Sambungan tidak baik akan menyebabkan terjadinya kotak pemutus, sambungan kawat yang tidak rapat akan terdapat celah udara seharusnya keadaan kedap udara menyebabkan alat cepat rusak. Sambungan yang tidak baik terkadang dikarenakan ada ranting pohon atau layang-layang yang menempel pada kabel.
4. Penggunaan Alat yang telah lama dan usang dapat memperburuk kinerja alat.
5. Terlalu besarnya arus yang mengalir mengakibatkan kenaikan suhu yang bisa merusak alat.
6. Pada SR saluran bersesakan dipercabangan pada sambungan dalam pelayanan, dimana tarikan SR dibawah maksimal 7.
7. Jika pada fasa R, S, T dialirkan arus yang tak selaras akan mengakibatkan adanya pengaliran arus menuju ground sehingga terjadilah hambatan besarpada ground, dengan batas maksimal 5 ohm.
8. Terdapat aliran arus pada penghantar netral, dimana keadaan lazim ketika mengalirnya arus disetiap penghantar netral ialah nol, namun akibat dari tidak seimbangny beban menyebabkan mengalirnya arus melewati penghantar ini yang mana sebagian bealih menjadi panas dan menaikan nilai susut teknis. Tindakan untuk menurunkan susut bisa berupa:

Dari sistem distribusi tenaga listrik dapat dilakukan upaya dalam meminimalisir susut yakni memastikan bahwa ukuran dan jenis penghantarnya cocok ketika dipakai dalam keadaan pembebanan jaringan juga dalam kapasitas hantar arus harus cocok agar memperkecil rute jaringan, menyesuaikan posisi beban agar drop voltage dalam batas yang diijinkan pada tiap titik percabangan beban, dimana pada posisi 20KV dalam kurun yang diijinkan pada drop voltage yakni pada jaringan tegangan rendah sebesar 5% (SPLN 1978).

Maintenance transformator sekunder tegangan rendah dilakukan sesuai dengan faktor beban di area pelayanan, memilih kapasitas transformator TR yang sesuai umumnya dilihat dari daya yang diperlukan untuk suplai ke beban, serta mempertimbangkan perluasan area pelayanan jika diperlukan. Agar tercapai tujuan utama menjaga nilai drop voltage tetap rendah, trafo yang dipakai memiliki kapasitas yang lebih besar dari daya beban sisi konsumen ini adalah keharusan. Sedang untuk area pemasangan transformator baiknya diposisikan dekat dengan beban yang akan disuplai listriknya. Sehingga nantinya nilai jatuh tegangannya tidak besar karena energi listrik hilang akibat penghantar yang terlalu panjang. Besar tegangan di saluran distribusi ditetapkan berdasarkan beban dan jaraknya.

Umumnya dalam penyaluran daya listrik banyak energi listrik yang hilang menjadi panas contohnya selama proses penyaluran listrik tersebut. Semakin jauh jarak penyulang ke beban maka energi yang hilang akan semakin besar juga sehingga saat sampai di sisi beban tegangannya berkurang membuat kualitas listrik buruk. Susut juga terjadi karena terlalu banyak sambungan TR kerumah - rumah pada 1 tiang saja dan jumlah tarikan SR yang sangat panjang dan banyak nantinya juga akan menaikkan Voltage Drop. Tindakan untuk menurunkan Voltage drop serta memperbaiki sistem penyulang listrik JTR adalah bisa dengan pemindahan beban arus fasa terukur besar ke fasa yang terukur kecil, pembangunan sistem tiang baru, memberikan gardu sisipan, memilih konduktor dengan luas penampang yang besar, memasang konduktor baru yang punya massa jenis lebih kecil meski nantinya harganya akan lebih mahal, atau dengan mengatur jarak antar tiang ke beban menjadi lebih dekat jaraknya.

Peralatan dan instrument yang sudah berumur dapat menurunkan kinerja. Supaya alat-alat digunakan sesuai umurnya tanpa terjadi degradasi kinerja sistemnya yang bisa menimbulkan susut jadi naik. Oleh sebab itu sangat perlu pemeliharaan dan perbaikan secara terjadwal sehingga jika ada alat yang rusak bisa segera diperbaiki dan kinerjanya dapat sesuai umur peralatan.

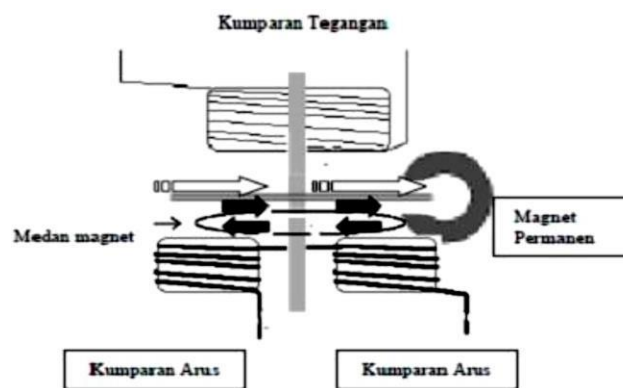
2.11.6 KWh Meter

PT. PLN (Persero) menggunakan suatu instrument bernama KWh meter

dalam memperkirakan jumlah penggunaan untuk menghitung dan mengukur jumlah pemakaian energi listrik yang dikonsumsi oleh pelanggan (Gonibala, 2018). berdasarkan jenis kWh meter yang digunakan umumnya saat ini digunakan PLN yakni alat ukur kWh meter analog (pascabayar) maupun digital (prabayar).

1. kWh meter analog (pascabayar)

kWh meter analog adalah jenis kWh meter untuk mengukur energi listrik bekerja secara analog. Komponen-komponen dari kWh meter umumnya yaitu sebuah piringan aluminium, magnet tetap, kumparan arus dan tegangan, serta gir mekanik yang bekerja untuk menggerakkan *counter (stand meter)* dan menghitung jumlah energi yang dihabiskan.



2.13 Medan Magnet Pada kWh Meter Analog

Prinsip kerjanya kWh meter analog ialah arus listrik akan mengalir pada kumparan, arus listrik pada koil kumparan arus yang dialiri arus listrik terdapat medan yang timbul pada lapisan luar kawat tembaga. Sehingga piring aluminium yang ada di medan kumparan arus menimbulkan adanya arus pusar (*eddy current*) pada piringan aluminium. Interaksi antara medan kumparan tegangan dan arus pusar menimbulkan torsi terhadap piringan sehingga piringan aluminium menjadi berputar. Kecepatan putaran piring aluminium ini dipengaruhi besar-kecilnya arus (Ampere) yang melewati kumparan. Poros untuk menopang piringan aluminium dihubungkan dengan roda gigi agar dapat menggerakkan counter penghitung pemakaian energi listrik.

2. KWh meter digital (prabayar)

kWh meter prabayar ialah jenis kWh meter ter-baru yang dikembangkan oleh PT. PLN (Persero). kWh meter prabayar berteujuan untuk memudahkan pelanggan pemakaian listrik saat hendak pembayaran listrik. Saat seorang pelanggan mengajukan untuk menggunakan kWh meter digital ia diberikan oleh PLN satu kartu prabayar (*ID card*). Dimana kartu ini berfungsi sebagai nomor identitas konsumen prabayar, selain itu juga dapat digunakan dalam transaksi pembelian energi listrik (token stroom). Membeli struk/token listrik bisa di kantorpelayanan PLN terdekat, di ATM, aplikasi *handphone* yang resmi bekerja sama dengan pihak PLN seperti *PLN Mobile*.

Saat isi ulang pulsa listrik dilakukan dengan menekan tombol angka pada kWh meter untuk memasukkan dua puluh digit angka yang tertera di struk token. Bila proses pengisian pulsa listrik sukses pulsa masih ada sebelum pengisian ulang langsung otomatis diakumulasi sesuai nilai akumulasi pulsa kWh yang baru diisi ulang. Keuntungan untuk pengguna kWh meter prabayar adalah energi listrik yang digunakan bisa terkontrol karena jumlah kWh tersisa akan langsung tertera, sehingga pelanggan listrik prabayar bisa langsung mengetahui rata-rata penggunaan energi listrik tiap harinya. kWh meter digital (prabayar) dilengkapi dengan alarm sebagai pengingat saat pulsa listrik hampir habis. Berikut ini adalah contoh bagian kWh meter digital.



Gambar 2.14 kWh Meter Digital (Prabayar)

Daftar tarif listrik PLN per kWh untuk golongan non-subsidi terbaru:

- Golongan R-1/TR daya 900 VA, Rp 1.352 per kWh.
- Golongan R-1/ TR daya 1.300 VA, Rp 1.444,70 per kWh.
- Golongan R-1/ TR daya 2.200 VA, Rp 1.444,70 per kWh

2.11.7 Pengelompokan Beban Konsumen

Beban konsumen pada prinsipnya dibedakan menjadi tiga macam kawasan yaitu.

1. Kawasan industri

Untuk beban di kawasan industry ini suplai energi listrik memerlukan system dengan keandalan yang tinggi sebab sering digunakan untuk mengoperasikan mesin-mesin (motor listrik) suplai listrik untuk keperluan pekerjaan pada industry tersebut.

2. Kawasan perdagangan atau komersial

Beban Kawasan komersial biasa untuk memenuhi keperluan hotel, hiburan, kantor, toko dan lain-lain. Sehingga suplai listrik pada kawasan ini memerlukan keandalan yang cukup baik untuk menunjang kegiatan perdagangan.

3. Kawasan pemukiman / perumahan

Kawasan pemukiman dibagi dalam tiga kelompok sebagai berikut ini: rumah tangga ukuran besar, rumah tangga ukuran pertengahan besar-kecil (sedang), dan rumah tangga ukuran kecil. Rumah tangga kecil umumnya ukuranrumahnya juga kecil dan penggunaan daya 450-900 VA sedangkan untuk rumahtangga sedang daya yang terpasang berkisar 3.300-5.500 VA karena menggunakan peralatan listrik yang lumayan banyak, dan rumah tangga besar akan menggunakan peralatan listrik yang peralatan rumah yang lebih banyak, maka daya yang dipasang adalah 6.600 VA ke atas.

PT. PLN (Persero) menggunakan suatu instrument bernama KWh meter dalam memperkirakan jumlah penggunaan untuk menghitung dan mengukur jumlah pemakaian energi listrik yang dikonsumsi oleh pelanggan (Gonibala, 2018). berdasarkan jenis kWh meter yang digunakan umumnya saat ini digunakan PLN yakni alat ukur kWh meter analog (pascabayar) maupun digital (prabayar).

¹¹Brialantini Anggraini.,2019. *Studi Penyeimbang Beban Untuk Menurunkan Angka Susut Teknnis Pada Gardu Distribusi*, Jakarta

2.12 Kriteria Desain Jaringan Tegangan Menengah¹²

Sistem Distribusi Tenaga Listrik untuk Tegangan Menengah yang akan dikembangkan adalah Sistem Distribusi Tegangan 20 KV menggunakan hantaran udara dan atau kabel tegangan menengah 20 KV dengan memperhatikan kepadatan beban, tingkat mutu dan keandalan serta kebutuhan pelanggan. Beberapa kriteria yang dipertimbangkan adalah :

- a. Kriteria kerapatan beban
- b. Pola konfigurasi
- c. Korelasi drop tegangan
- d. Korelasi susut terhadap standar jaringan.
- e. Pengembangan jaringan baru

2.12.1 Beban puncak

Beban puncak (kebutuhan maksimum) sebagai beban kebutuhan terbesar yang terjadi selama periode tertentu. Periode tertentu dapat berupa sehari, sebulan maupun setahun. Data yang didapat dari PT. PLN area Bali Selatan menyebutkan bahwa beban maksimal penyulang, maksimal standar normal penyulang yaitu 240 A, dan jika ada beban puncak melebihi standar tersebut, solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan 2 skenario.

Skenario 1 dengan mengalihkan sebagian beban yang dipikul oleh penyulang tersebut ke penyulang terdekat.

Skenario 2 yaitu dengan memotong beban penyulang menjadi dua, sehingga didapat penyulang 1 yaitu penyulang 1 lama yang sebagian bebannya sudah dilepas dan Penyulang 2 yaitu sebagian beban penyulang 2 yang akan dialihkan ke penyulang baru, yang ditarik dari gardu induk terdekat.

Permasalahan yang paling mendasar pada distribusi daya listrik adalah pada mutu, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan daya listrik pada pelanggan. Penggunaan evaluasi keandalan sistem pada jaringan distribusi 20 kV merupakan salah satu faktor yang penting untuk meningkatkan dan menjamin.

¹²Priadi K.H.,2015. *Evaluasi Untuk Beban Lebih Pada Penyulang*, Bali

2.13 Keandalan Sistem Distribusi 20 KV¹³

A. Definisi dan Teori Dasar Keandalan

Keandalan (reliability) didefinisikan sebagai probabilitas dari peralatan atau system untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu. Dengan demikian, keandalan sistem distribusi berarti probabilitas sistem distribusi untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu.

B. Keandalan dalam Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Tingkat keandalan dari sistem distribusi diukur dari sejauh mana penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung secara kontinu kepada para pelanggan tanpa perlu terjadi pemadaman. Seiring dengan kemajuan zaman, terjadi pertumbuhan beban ditandai munculnya kawasan industri, bisnis, serta pemukiman yang baru, dan hal ini tentunya menuntut tingkat keandalan yang semakin tinggi.

C. Istilah dalam Keandalan Distribusi

Ada beberapa istilah yang penting berkaitan dengan keandalan sistem distribusi:

- Outage. Keadaan di mana suatu komponen tidak dapat melakukan fungsinya disebabkan hal-hal yang secara langsung berhubungan dengan komponen tersebut. Outage dapat atau tidak dapat mengakibatkan pemadaman bergantung pada konfigurasi sistem.
- Forced outage. Outage yang disebabkan oleh keadaan darurat yang secara langsung berhubungan dengan suatu komponen, di mana perlu agar komponen tersebut dilepaskan dari sistem dengan segera, atau outage yang disebabkan oleh kesalahan dalam pengoperasian peralatan ataupun karena kesalahan manusia
- Scheduled outage. Outage yang dihasilkan ketika suatu komponen dengan sengaja dilepaskan dari sistem pada waktu-waktu yang telah ditentukan, biasanya untuk tujuan perbaikan atau pemeliharaan berkala.

- Interruption. Pemutusan kerja (pemadaman) pada satu atau lebih konsumen atau fasilitas sebagai akibat dari outage yang terjadi pada satu atau lebih komponen.
- Forced interruption. Pemadaman yang disebabkan oleh forced outage.
- Scheduled interruption. Pemadaman yang disebabkan oleh scheduled outage.
- Failure rate (λ). Jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi pada sebuah komponen dalam kurun waktu tertentu. Umumnya waktu dinyatakan dalam year dan failure rate dinyatakan dalam failure/year
- Outage time (r). Waktu yang digunakan untuk memperbaiki atau mengganti bagian dari peralatan akibat terjadi kegagalan atau periode dari saat permulaan peralatan mengalami kegagalan sampai saat peralatan dioperasikan kembali sebagaimana mestinya (outage time umum dinyatakan dalam hours/failure).
- Annual outage time (U). Lama terputusnya pasokan listrik rata-rata dalam kurun waktu tertentu (umumnya annual outage time dinyatakan dalam hours/year)

2.13.1 Konsep Pendekatan Teknik

Metode FMEA untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana kegagalan dari suatu peralatan sistem distribusi akan mempengaruhi keandalan sistem secara menyeluruh, sehingga untuk menentukan keandalan sistem dibutuhkan syarat-syarat sebagai berikut:

- a) Hanya diperlukan satu deskripsi topologi jaringan. Sistem dapat didefinisikan dalam cabang-cabangnya, komponen-komponennya, titik supply, dan titik beban/load point.
- b) Untuk setiap komponen/peralatan diperinci data keandalan seperti indeks kegagalan (failure rate), waktu perbaikan (repair time), dan waktu switching (switching time).
- c) Sectionalizer diperlakukan sebagai peralatan sistem dan alokasinya disesuaikan dengan topologi jaringan.

- d) Penjumlahan dari pengaruh kegagalan setiap load point, baik itu failure rate, repair time, hal ini merupakan dasar rumusan dan perhitungan SAIFI, SAIDI, CAIDI

2.13.2 Standart Keandalan Sistem 20 Kv

Untuk mengukur suatu keandalan suatu system maka diperlukan patokan/standar yang berguna untuk menilai keadaan system dalam kondisi baik ataupun kurang baik. Maka berdasarkan standart PLN menurut majalah FOKUS penerbit PT.PLN february 2011 menetapkan bahwa system dalam kondisi baik jika telah memenuhi standart seperti dibawah :

- SAIFI : 1,2 kali/pelanggan/tahun
- SAIDI : 0,83 jam/pelanggan/tahun

Sedangkan menurut standart IEEE P1366-2003, nilai indeks keandalan telah memenuhi standart jika memenuhi

- SAIFI : 1,26 kali/pelanggan/tahun
- SAIDI : 1,9 jam/pelanggan/tahun

Dan pada Parameter pengukuran Laju kegagalan dan juga Switching Time berdasarkan SPLN pada tahun 1985 tentang Keandalan system Distribusi 20 kV dan 6 kV yaitu :

Tabel 2.2 Standart Nilai Laju Kegagalan dan Repair Time

No	Komponen	Laju Kegagalan	Repair Time (Jam)
1	Saluran Udara	0,2/km/tahun	4
2	Pemutus Tenaga	0,004/unit/tahun	10
3	Sakelar Pemisah	0,003/unit/tahun	10
4	Sakelar Beban	0,003/unit/tahun	10
5	Trafo Distribusi	0,005/unit/tahun	10

Operasi kerja waktu membuka menutup sakelar beban atau pemisah adalah 0.15 jam.

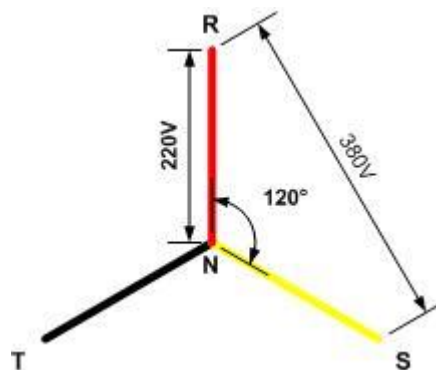
2.13.3 Indeks Keandalan

indeks-indeks keandalan yang digunakan untuk menghitung performa keandalan sistem secara keseluruhan yaitu :

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) menginformasikan tentang frekuensi pemadaman rata-rata untuk tiap konsumen dalam kurun waktu setahun pada suatu area yang dievaluasi, cara menghitungnya yaitu total frekuensi pemadaman dari konsumen dalam setahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index) menginformasikan tentang durasi pemadaman rata-rata untuk tiap konsumen dalam kurun waktu setahun pada suatu area yang dievaluasi, cara menghitungnya yaitu total durasi pemadaman dari konsumen dalam setahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani.
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) menginformasikan tentang durasi pemadaman rata-rata konsumen untuk setiap gangguan yang terjadi.

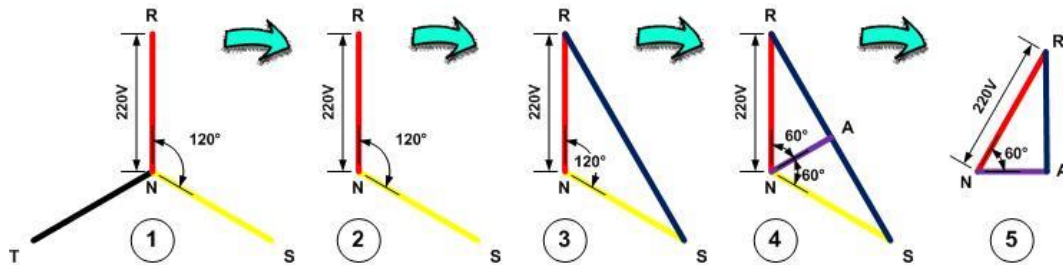
2.13.4 Tegangan Tiga Fasa

Tegangan tiga fasa sering digambarkan dengan tiga buah garis dengan satu ujung saling bertemu, sehingga setiap garis membentuk sudut 120 derajat. Sudut itulah yang disebut sudut perbedaan fasa antara satu fasa dengan fasa lainnya sebesar 120 derajat. Seperti diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 2.15 Tiga Fasa

Untuk mencari darimana datangnya akar tiga, Mari kita coba gunakan perhitungan matematika sederhana, dengan bantuan gambar sebagai berikut:



Gambar 2.16 Gambar Akar Tiga

Gambar 1 adalah representasi dari tegangan tiga fasa dan netral, dimana tegangan fasa ke netral adalah 220V ($V_{RN}=220V$, $V_{SN}=220V$, $V_{TN}=220V$)

Gambar 2 merupakan cuplikan dua buah fasa, dimana antara dua fasa berbeda sudut 120 derajat.

Gambar 3, ditarik garis dari R ke S, yang merepresentasikan tegangan antar fasa atau V_{RS}

Gambar 4, bidang segitiga RSN, dibagi dua dengan menarik garis NA, sehingga terbentuk dua buah segitiga yang memiliki bentuk serupa, dengan sudut $\angle RNA = \angle SNA$, sebesar 60 derajat.

Gambar 5, merupakan potongan segitiga RNA dari gambar 4, dari gambar inilah dasar perhitungan akan dimulai.

Keandalan (reliability) didefinisikan sebagai probabilitas dari peralatan atau sistem untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu. Dengan demikian, keandalan sistem distribusi berarti probabilitas sistem distribusi untuk dapat menjalankan fungsinya dengan semestinya, dalam kurun waktu tertentu, serta pada kondisi kerja tertentu.

Tingkat keandalan dari sistem distribusi diukur dari sejauh mana penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung secara kontinu kepada para pelanggan tanpa perlu terjadi pemadaman

¹³Fatoni Achmad dkk.,2016. *Keandalan Distribusi 20 Kv dengan Mode FMEA*, Surabaya

