



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Distribusi Tenaga Listrik¹

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV , 154 kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

¹ Rozeta, F. 2015. *Pengertian Distribusi Tenaga Listrik Bab II*. Palembang



Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV, UHV, EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan- perlengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo stepdown. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda. Sistem distribusi terdiri atas system distribusi primer dan sekunder.

2.1.1 Distribusi primer

Distribusi Primer yaitu jaringan distribusi yang berasal dari jaringan transmisi yang diturunkan tegangannya di Gardu Induk (GI) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan nominal tegangan 20 kV yang biasa disebut JTM (Jaringan Tegangan Menengah) lalu disalurkan ke lokasi-lokasi pelanggan listrik kemudian di turunkan tegangannya di trafo pada gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan.

2.1.2 Distribusi sekunder

Distriusi Sekunder yaitu jaringan distribusi dari gardu distribusi untuk di salurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 220 V atau 380 V (antar fasa). Pelanggan yang memakai tegangan rendah ini adalah pelanggan paling banyak karena daya yang dipakai tidak terlalu banyak. Jaringan dari gardu distribusi dikenal dengan JTR (Jaringan Tegangan Rendah), lalu dari JTR dibagi-bagi untuk ke rumah pelanggan, saluran yang masuk dari JTR ke rumah pelanggan disebut Sambungan Rumah (SR). Pelanggan tegangan ini banyaknya menggunakan listrik satu fasa, walau ada beberapa memakai listrik tiga fasa.

2.2 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)²



Gambar 2.1 SUTM

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan Tegangan Menengah yang digunakan di Indonesia. Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar Fase atau dengan bangunan atau dengan tanaman atau dengan jangkauan manusia. Termasuk dalam kelompok yang diklasifikasikan SUTM adalah juga bila penghantar yang digunakan adalah penghantar berisolasi setengah AAAC-S (half insulated single core). Penggunaan penghantar ini tidak menjamin keamanan terhadap tegangan sentuh yang dipersyaratkan akan tetapi untuk mengurangi resiko gangguan temporer khususnya akibat sentuhan tanaman.

² Buku PLN 5. 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tegangan Listrik*. Jakarta. Hal 3

2.3 Komponen Utama Konstruksi SUTM³

2.3.1 Penghantar

2.3.1.1 penghantar telanjang (bc : bare conductor)



Gambar 2.2 Penghantar AAC dan AAAC

Konduktor dengan bahan utama tembaga(Cu) atau aluminium (Al) yang di pilin bulat padat, sesuai SPLN 42 -10 : 1986 dan SPLN 74 : 1987 Pilihan konduktor penghantar telanjang yang memenuhi pada dekade ini adalah AAC atau AAAC. Akibat tingginya harga tembaga dunia yang sangat tinggi.

2.3.1.2 penghantar berisolasi setengah aaac-s

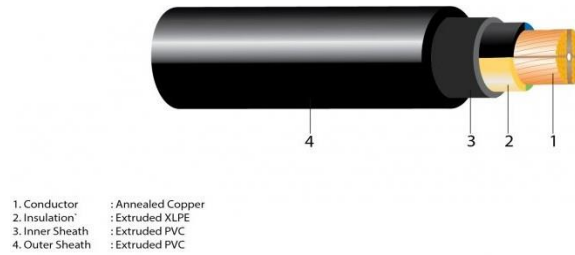


Gambar 2.3 Penghantar AAAC-S

Konduktor dengan bahan utama aluminium ini diisolasi dengan material XLPE (crosslink polyethylene langsung), dengan batas tegangan 6 kV dan harus memenuhi SPLN No 43-5-6 tahun 1995.

³ Buku PLN 5. 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tegangan Listrik*. Jakarta. Hal 5

2.3.1.3 penghantar berisolasi penuh (three single core)



Gambar 2.4 Penghantar Berisolasi Penuh

XLPE dan berselubung PVC berpendingantung penghantar baja dengan tegangan Pengenal 12/20 (24) kV Penghantar jenis ini khusus digunakan untuk SKUTM dan berisolasi penuh. SPLN 43-5-2 tahun 1995.

2.3.2 Isolator⁴

Pada jaringan SUTM, Isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang penopang/ travers dibedakan untuk jenis konstruksinya adalah:

2.3.2.1 isolator tumpu

Isolator Tumpu (Pin Insulator) Beban yang dipikul oleh isolator berupa beban berat penghantar, jika penghantar dipasang di bagian atas isolator (top side) untuk tarikan dengan sudut maksimal 2° dan beban tarik ringan jika penghantar dipasang di bagian sisi (leher) isolator untuk tarikan dengan sudut maksimal 18° . Isolator dipasang tegak-lurus di atas travers.



Gambar 2.5 Isolator Tumpu Polimer dan Isolator Tumpu Porselin

⁴ Buku PLN 5. 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tegangan Listrik*. Jakarta. Hal 5

2.3.2.2 isolator tarik

Isolator Tarik (Strain Insulator) Beban yang dipikul oleh isolator berupa beban berat penghantar ditambah dengan beban akibat pengencangan (tarikan) penghantar, seperti pada konstruksi tiang awal / akhir, tiang sudut , tiang percabangan dan tiang penegang. Isolator dipasang di bagian sisi Travers atau searah dengan tarikan penghantar. Penghantar diikat dengan Strain Clamp dengan pengencangan mur dan bautnya. Isolator jenis ini pada sebagian konstruksi SUTM di Jawa Barat dipakai juga untuk tarikan lurus atau sudut kecil yang dipasang menggantung di bawah travers dan sebagai pengikat penghantarnya digunakan suspension clamp seperti pada konstruksi SUTT.



Gambar 2.6 Isolator Tarik Polimer dan Isolator Tarik Porselin

2.3.3 Tiang⁵

Biasanya tiang yang digunakan untuk SUTM terdiri dari tiang tunggal, kecuali untuk gardu memakai tiang ganda. Pemasangan tiang terpasang di tepi jalan raya bahkan gang. Pemasangan tiang dapat dikurangi dengan menggunakan sistem saluran bawah tanah pada sistem distribusi. Biasanya tiang listrik berupa pipa dimana semakin keatas semakin kecil diameternya. Namun, sekarang ini tiang besi jarang digunakan melainkan sudah diganti atau beralih ke tiang beton.

Perencanaan material atau bahan serta ukuran tiang listrik ditentukan oleh banyak faktor seperti momen, kecepatan angin, kekuatan tanah, beban penghantar dan kekuatan tiang itu sendiri.

⁵ Buku PLN 5. 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tegangan Listrik*. Jakarta. Hal 6

Jenis – jenis tiang listrik menurut kegunaannya sebagai berikut :

- tiang awal atau akhir
- tiang penyangga
- tiang sudut
- tiang peregang atau tiang tarik
- tiang topang

2.3.3.1 tiang kayu



Gambar 2.7 Tiang Kayu

SPLN 115 : 1995 berisikan tentang Tiang Kayu untuk jaringan distribusi, kekuatan, ketinggian, dan pengawetan kayu sehingga pada wilayah perusahaan PT PLN Persero bila suplai kayu memungkinkan, dapat digunakan sebagai tiang penopang penghantar SUTM.

2.3.3.2 tiang besi



Gambar 2.8 Tiang Besi

Adalah jenis tiang terbuat dari pipa besi yang disambungkan hingga diperoleh kekuatan beban tertentu sesuai

kebutuhan. Walaupun lebih mahal, pilihan tiang besi untuk area/wilayah tertentu masih diijinkan karena bobotnya lebih ringan dibandingkan dengan tiang beton. Pilihan utama juga dimungkinkan bilamana total biaya material dan transportasi lebih murah dibandingkan dengan tiang beton akibat di wilayah tersebut belum ada pabrik tiang beton.

2.3.3.3 tiang beton



Gambar 2.9 Tiang Beton

Untuk kekuatan sama, pilihan tiang jenis ini dianjurkan digunakan diseluruh PLN karena lebih murah dibandingkan dengan jenis konstruksi tiang lainnya termasuk terhadap kemungkinan penggunaan konstruksi rangkaian besi profil.

2.3.4 Peralatan proteksi jaringan sutm

Proteksi adalah pengaman listrik pada sistem distribusi tenaga listrik yang dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu dengan sistem tenaga listrik yang tidak terganggu sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja. Jadi pada hakekatnya pengaman pada sistem tenaga listrik mengamankan seluruh sistem tenaga listrik, supaya keandalan tetap terjaga.

- *fuse cut out (fco)*⁶

Fuse Cut Out (FCO) merupakan sebuah alat pemutus rangkaian listrik yang berbeban pada jaringan distribusi yang bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (fuse link) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan dengan ukurannya itu. Disamping itu FCO merupakan peralatan proteksi yang bekerja apabila terjadi gangguan arus lebih.



Gambar 2.10 *Fuse Cut Out (FCO)*

- recloser

Recloser adalah pemutus balik otomatis secara fisik mempunyai kemampuan sebagai pemutus beban yang dapat bekerja secara otomatis untuk mengamankan sistem dari arus lebih yang diakibatkan adanya gangguan hubung singkat.



Gambar 2.11 *Recloser*

⁶ Buku PLN 4. 2010. *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan. Hal 10

- *load break switch*⁷

Load break switch (LBS) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fase untuk penempatan di luar ruas pada tiang pancang, yang dikendalikan secara elektronis. *Switch* ini dioptimalkan melalui control jarak jauh dan skema otomatisasi.



Gambar 2.12 *Load Break Switch*

- *lightning arrester*⁸

Alat proteksi bagi peralatan listrik terhadap tegangan lebih, yang disebabkan oleh petir atau surja hubung (*switching surge*). Untuk melindungi Transformator distribusi, khususnya pada pasangan luar dari tegangan lebih akibat surja petir. Dengan pertimbangan masalah gangguan pada SUTM, Pemasangan Arester dapat saja dipasang sebelum atau sesudah FCO



Gambar 2.13 *Lightning Arrester*

⁷ Buku PLN 4. 2010. *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan. Hal 8

⁸ Buku PLN 4. 2010. *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan. Hal 11

2.3.5 Transformator distribusi

Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi electromagnet. Dengan alat yang bernama trafomaka pilihan tegangan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pada pelanggan.



Gambar 2.14 Transformator

2.4 Pemeliharaan SUTM⁹

Pemeliharaan atau maintenance adalah kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu aset dan memperbaikinya agar selalu dalam keadaan siap pakai untuk melaksanakan produktivitas secara efektif dan efisien sesuai dengan standar (fungsional dan kualitas). Dalam prakteknya, pemeliharaan dapat diartikan sebagai tindakan merawat suatu barang atau peralatan dengan memperbarui usia peralatan tersebut.

2.4.1 Pemeliharaan rutin (preventive maintenance)

Pemeliharaan rutin (Preventive maintenance) adalah pekerjaan /kegiatan / usaha mempertahankan atau menjaga kondisi jaringan tersebut agar selalu berada dalam keadaan baik, mempunyai keandalan dan daya guna yang optimal. Adapun periode dari jenis pemeliharaan adalah 1 kali setahun.

⁹ Nurastu, Brecia. 2013. *Antisipasi Gangguan Dan Pemeliharaan Jaringan Tegangan Menengah 20kV Di PT. PLN (PERSERO) Unit Pelayanan Jaringan Semarang Tengah*. Semarang



2.4.2 Pemeriksaan korektif (corrective maintenance)

Pemeriksaan korektif jaringan tegangan menengah adalah pekerjaan pemeliharaan yang dimaksudkan untuk memperbaiki kerusakan karena adanya gangguan atau perubahan / penyempurnaan dan rehabilitasi sebagai tindak lanjut saran-saran dari pemeliharaan rutin.

2.4.3 Pemeliharaan darurat (emergency maintenance)

Pemeliharaan darurat (emergency maintenance) adalah pekerjaan pemeliharaan yang dimaksudkan untuk memperbaiki kerusakan yang ditimbulkan oleh bencana alam seperti gempa bumi, banjir, angin rebut dan kebakaran selama masih dalam batas pengertian operasi. Biasanya pekerjaan ini sifatnya mendadak dan segera dilaksanakan. Karena sifatnya darurat, maka pekerjaan ini tidak dapat direncanakan sebelumnya.

2.4.4 Jadwal pemeliharaan distribusi

Salah satu usaha untuk meningkatkan mutu, daya guna dan keandalan tenaga listrik yang telah tercantum dalam tujuan pemeliharaan yaitu menyusun program pemeliharaan periodik dengan jadwal tertentu, menurut siklusnya kegiatan pelaksanaan pemeliharaan distribusi dikelompokkan dalam empat kelompok yaitu :

- pemeliharaan triwulanan

Pemeliharaan triwulanan atau 3 bulanan adalah suatu kegiatan dilapangan yang dilaksanakan dalam tiga bulan denganmaksud untuk mengadakan pemeriksaan kondisi sistem. Dengan harapan Langkah – Langkah yang perlu dilaksanakan perbaikan sistem peralatan yang terganggu dapat ditentukan lebih awal.

Bila ada keterbatasan dalam masalah data pemeliharaan, program pemeliharaan triwulan dapat dibagi untuk memelihara bagian – bagian jaringa distribusi yang rawan gangguan, diantaranya

adalah saluran telanjang atau tidak berisolasi. Dimana saluran udara semacam ini diperkirakan paling rawan terhadap gangguan eksternal misalnya pohon – pohon, benang layang – layangan, dan seterusnya.

Kegiatan yang perlu dilakukan dalam program triwulan :

1. Mengadakan inspeksi terhadap saluran udara harus mempunyai jarak aman yang sesuai dengan yang diizinkan (2m).
2. Mengadakan evaluasi terhadap hasil inspeksi yang telah dilaksanakan dan segera mengadakan tindak lanjut.

- pemeliharaan semesteran

Pemeliharaan semesteran atau 6 bulan adalah suatu kegiatan yang dilakukan dilapangan dengan maksud untuk mengetahui sendiri kemungkinan keadaan beban jaringan dan tegangan pada ujung jaringan suatu penyulang Tegangan Rendah (TR).

Dimana besarnya regulasi tegangan yang diizinkan oleh PLN pada saat ini adalah +5% untuk sisi pengirim dan -10% untuk sisi penerima. Perbandingan beban untuk setiap fasanya pada setiap penyulang TR tidak kurang dari 90%, 100%, dan 110%.

Hal ini untuk menjaga adanya ketidak seimbangan tegangan yang terlalu besar pada saat terjadi gangguan putusnya kawat netral (nol) di jaringan TR.

Kegiatan yang perlu dilakukan dalam pemeliharaan ini :

1. Melakukan pengukuran beban
2. Melaksanakan pengukuran tegangan ujung jaringan.
3. Mengadakan evaluasi hasil pengukuran dan tindak lanjut.

- pemeliharaan tahunan

Pemeliharaan tahunan merupakan suatu kegiatan yang dilaksanakan untuk mengadakan pemeriksaan dan perbaikan sistem peralatan.

Kegiatan pemeliharaan tahunan biasanya dilaksanakan menurut tingkat prioritas tertentu. Pekerjaan perbaikan sistem peralatan yang difatnya dapat menunjang perasi secara langsung atau pekerjaann – pekerjaan yang dapat mengurangi adanya gangguan operasi sistem perlu mendapat prioritas yang lebih tinggi.

Pada prekateknya pemeliharaan tahunan dapat dilaksanakan dalam dua keadaan yaitu:

1. Pemeliharaan tahunan keadaan bertegangan
2. Pemeliharaan tahunan keadaan bebas bertegangan

- pemeliharaan 3 tahunan

Pemeliharaan tiga tahunan merupakan program pemeliharaan sebagai tindak lanjut dari kegiatan pemeliharaan tahunan yang telah diselenggarakan. Kegiatan pemeliharaan tiga tahunan dilaksanakan dalam keadaan bebas tegangan dimana sifat pemeliharaannya baik teliti dan penyaluran, biasa sampai tahap bongkar pasang (over houl). Dengan keadaan ini pelaksanaan pemeliharaan tiga tahunan merupakan kegiatan pemeliharaan rutin yang termasuk pekerjaan pemeriksaan rutin sistematis.

2.5 Gangguan pada SUTM¹⁰

Pada suatu sistem jaringan saluran udara tegangan menengah tidak akan luput dari gangguan baik yang disebabkan oleh faktor internal maupun faktor eksternal. Gangguan ini dapat mempengaruhi kinerja dari jaringan SUTM itu

¹⁰ Yandri, V. R., dan Kahar, N. Y. 2015. *Studi Penentuan Faktor Dominan Penyebab Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) di Wilayah Kerja PT.PLN (PERSERO) Rayon Kayu Aro. Gadang Guguak*

sendiri terutama mempengaruhi terhadap kaandalan jaringan pada penyulang tersebut.

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada penyulang SUTM. Dan setiap gangguan tersebut dapat menyebabkankerugian pada PT PLN itu sendiri karena ada nya energy yang tak tersalurkan atau biasa disebut dengan *Energy Not Supply* (ENS). Berikut merupakan faktor - faktor terjadinya gangguan pada penyulang saluran udara tegangan menengah (SUTM)

2.5.1 Pohon

Gangguan yang disebabkan oleh adanya bagian dari pohon yang mengenai jaringan SUTM, seperti penghantar SUTM yang mengakibatkan terjadinya hubung singkat antar fasa pada penghantar SUTM. Sehingga dapat menimbulkan gangguan yang dapat berakibat padamnya aliran listrik pada jaringan tersebut.

2.5.2 Layang-layang

Penyebab gangguan ini dikarenakan adanya layang-layang yang mengenai bagian yang bertegangan pada jaringan SUTM.kemungkinan juga disebabkan oleh adanya benang layang-layang yang tersangkut padajaringan sehingga antara penghantar satu dengan yang lainnya terhubung.

2.5.3 Pihak ketiga

Gangguan yang disebabkan oleh adanya kegiatan/perbuatan masyarakat yang menyebabkan terganggunya jaringan SUTM.

2.5.4 Binatang

Gangguan yang disebabkan oleh adanya binatang yang mengenai bagian penghantar yang bertegangan pada jaringan SUTM.

2.5.5 Komponen sum

Gangguan yang disebabkan oleh adanya kerusakan pada bahan- bahan listrik yang digunakan pada saluran udara tegangan menengah, seperti putusnya kawat penghantar, rusaknya fuse cut out, arrester, isolator pecah dan sebagainya.

2.5.6 Bencana alam

Bencana alam merupakan salah satu faktor yang dapat mengakibatkan terjadinya gangguan pada penyulang. faktor ini merupakan faktor yang sangat sulit untuk di atasi karena kita tidak dapat memprediksi kapan dan dimana bencana alam itu sendiri akan terjadi.

2.6 Akibat Terjadinya Pemadaman Listrik

Listrik merupakan kebutuhan primer bagi manusia. Aliran listrik banyak digunakan untuk keperluan pekerjaan baik di kantor, perdagangan, restoran, rumah maupun kegiatan lainnya.

Ketika ketersediaan daya listrik berkurang, maka sering terjadi pemadaman listrik secara bergilir. Masalah yang terkait pemadaman listrik secara bergilir ini pastinya sudah banyak dialami oleh siapa pun dan memberikan dampak pada pengguna apalagi pemadaman terjadi tanpa adanya informasi sebelumnya.

2.6.1 Dampak terhadap pelanggan

Dampak pemadaman listrik bagi pelanggan yaitu akan menghambat laju informasi, terbengkalai pekerjaan rumah, tidak adanya hiburan karena aliran listrik padam sehingga tidak ada penerangan di saat malam hari sehingga susah membuat pelanggan beraktivitas.

2.6.2 Dampak terhadap pt pln (persero)

Dampak pemadaman listrik bagi PT PLN (Persero) yaitu akan menghambat pekerjaan kantor, harus siap siaga untuk mencari gangguan atau penyebab terjadinya pemadaman siang maupun malam hari, terdapat

juga rugi rupiah karena banyak nya jumlah kWh yang tidak terjual ke pelanggan akibat terjadinya pemadaman.

2.6.2.1 *energy not supply* (ens)¹¹

ENS (Energy Not Supplied) adalah indeks keandalan yang menyatakan jumlah energi yang tidak dapat disalurkan oleh sistem distribusi kepada pelanggan selama periode tertentu. Secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$ENS = I \times V \times \cos \phi \times \sqrt{3} \times \text{Durasi Padam} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

I = arus sebelum terjadi pemadaman

V = tegangan (20KV)

Cos phi = 0,85

2.6.2.2 kerugian pln (rupiah)

Saat melakukan pemeliharaan yang membutuhkan pemadaman, tentu PLN akan mengalami kerugian karena tidak tersalurkannya energi kepada pelanggan. Kerugian pln initergantug dari tinggi atau rendahnya nilai *energy not sold*. Secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut

$$\text{Kerugian PLN} = ENS \times 1.444,7 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$$\text{Tarif Rupiah / Kwh} = 1.444,7^{12}$$

¹¹ Randa, Y. M., dkk. 2018. *Evaluasi Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20kV dan Rugi-Rugi Energi yang Tidak Tersalurkan Pada Feeder Raya 10/Adisucipto*. Jurnal Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

¹² Boby. 2022. *Tarif Listrik Terbaru 2022 Kementerian ESDM (Harga kwh)*. Jakarta

2.7 Ruang Bebas dan Jarak Aman SUTM¹³

Jarak aman adalah jarak antara bagian aktif/fase dari jaringan terhadap benda-benda disekelilingnya baik secara mekanis atau elektromagnetis yang tidak memberikan pengaruh membahayakan. Secara rinci Jarak aman jaringan terhadap bangunan lain dapat dilihat pada tabel 2.1 Khusus terhadap jaringan telekomunikasi, jarak aman minimal adalah 1 m baik vertikal atau horizontal. Bila dibawah JTM terdapat JTR, jarak minimal antara JTM dengan kabel JTR dibawahnya minimal 120 cm.

Tabel 2.1 Jarak aman SUTM

No.	Uraian	Jarak Aman
1.	Terhadap permukaan jalan raya	> 6 meter
2.	Balkon rumah	> 2,5 meter
3.	Atap rumah	> 2,5 meter
4.	Dinding bangunan	> 2,5 meter
5.	Antena tv / radio , menara	> 2,5 meter
6.	Pohon	> 2,5 meter
7.	Lintasan kereta api	> 2 meter dari atap kereta
8.	Underbuilt TM-TM	> 1 meter
9.	Underbuilt TM-TR	> 1 meter

¹³ Buku PLN 5. 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta. Hal 9

2.8 Papan Hubung Bagi Tegangan Rendah¹⁴

PHB-TR adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. Keseluruhannya dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian penyangganya. Secara umum PHB TR sesuai SPLN 118-3-1-1996, untuk pasangan dalam adalah jenis terbuka. Rak TR pasangan dalam untuk gardu distribusi beton. PHB jenis terbuka adalah suatu rakitan PHB yang terdiri dari susunan penyangga peralatan proteksi dan peralatan Hubung Bagi dengan seluruh bagian-bagian yang bertegangan, terpasang tanpa isolasi. Jumlah jurusan per transformator atau gardu distribusi sebanyak-banyaknya 8 jurusan, disesuaikan dengan besar daya transformator dan Kemampuan Hantar Arus (KHA) Penghantar JTR yang digunakan. Pada PHB-TR harus dicantumkan diagram satu garis, arus pengenalan gawai proteksi dan kendali serta nama jurusan JTR. Sebagai peralatan sakelar utama saluran masuk PHB-TR, dipasangkan Pemutus Beban (LBS) atau NFB (No Fused Breaker).

2.8.1 No fused breaker

No Fused Breaker adalah breaker/pemutus dengan sensor arus, apabila ada arus yang melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas breaker, maka sistem magnetik dan bimetalic pada peralatan tersebut akan bekerja dan memerintahkan breaker melepaskan beban.

2.8.2 Pengaman lebur

Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus yang dengan meleburnya bagian dari komponennya yang telah dirancang dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian dimana sekering tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam jangka waktu yang cukup (SPLN 64:1985:1). Fungsi pengaman lebur dalam suatu rangkaian listrik adalah untuk setiap saat menjaga atau mengamankan rangkaian berikut peralatan atau perlengkapan yang tersambung dari kerusakan, dalam batas nilai pengenalnya (SPLN 64:1985:24).

¹⁴ Buku PLN 4. 2010. *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan. Hal 8

2.9 Handling Transportasi¹⁵

Pekerjaan pemindahan atau pengangkutan Penghantar atau Kabel harus dilakukan secara hati-hati dan dilaksanakan sesuai ketentuannya. Untuk jarak pemindahan pendek < 20 meter, haspel dapat digelindingkan dan didorong dengan arah berlawanan gulungan kabel. Lintasan gulungan kabel harus dibersihkan dari batu-batu dan hambatan lain. Untuk kondisi lintasan atau struktur tanah yang lunak supaya digunakan plat besi setebal 6 s/d 10 mm. Untuk pengangkutan menggunakan kendaraan, kondisi haspel harus dalam keadaan baik. Bila ada kerusakan haspel harus diperbaiki dan bila tidak mungkin untuk diperbaiki kabel harus digulungkan pada haspel yang baru. Menaikkan haspel kabel keatas truk dapat dilakukan dengan tenaga manusia, fork lift, kran ataupun derek bermotor.

Didalam truk haspel harus diganjil dan diikat agar tidak tergulir. Cara lain untuk pengangkutan adalah dengan menggunakan “trailer” kabel yang ditarik oleh mobil. Kemampuan peralatan / kendaraan yang digunakan harus sesuai dengan berat kabel. Penurunan kabel tidak boleh dilakukan dengan cara menjatuhkan kabel dari atas truk. Penurunan dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti pada waktu penaikan. Bila kabel yang akan diangkat panjangnya kurang dari 25 meter, pengangkutan-pengangkutan dapat dilakukan tanpa haspel, kabel dapat dibuat dalam bentuk lingkaran dengan jarijari sekurang-kurangnya dari 15 x diameter kabel atau spiral membentuk angka 8.

2.10 Peralatan Pengukur¹⁶

Suatu peralatan yang mampu melakukan pengukuran terhadap besaran – besaran listrik. Terutama pengukuran arus dan tegangan.

2.10.1 Transformator tegangan

Fungsinya adalah mentransformasikan besaran Tegangan Tinggi ke besaran Tegangan Rendah guna pengukuran atau proteksi dan sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau diproteksikan dengan alat ukurnya / proteksinya.

¹⁵ Buku PLN 5. 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta. Hal 17

¹⁶ Buku PLN 4. 2010. *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan. Hal 10

2.10.2 Transformator arus

Transformator arus (Current Transformer- CT) adalah salah satu peralatan di Gardu Distribusi, fungsinya untuk mengkonversi besaran arus besar ke arus kecil guna pengukuran sesuai batasan alat ukur, juga sebagai proteksi serta isolasi sirkit sekunder dari sisi primernya.

Faktor yang harus diperhatikan pada instalasi transformator arus adalah Beban (Burden) Pengenal dan Kelas ketelitian CT. Disarankan menggunakan jenis CT yang mempunyai tingkat ketelitian yang sama untuk beban 20% - 120% arus nominal. Nilai burden, kelas ketelitian untuk proteksi dan pengukuran harus merujuk pada ketentuan/persyaratan yang berlaku. Konstruksi transformator arus dapat terdiri lebih dari 1 kumparan primer (double primer). Untuk konstruksinya sama halnya dengan transformator tegangan, transformator arus pasangan luar memiliki konstruksi lebih besar/kokoh dibandingkan konstruksi pasangan dalam yang umumnya built in (atau akan dipasangkan) dalam kubikel pengukuran.

2.11 Instalasi Transformator Distribusi¹⁷

- Penempatan transformator dalam gardu harus sesuai rencana tata ruang disain sipil gardu bersangkutan; dengan sisi tegangan rendah menghadap/pada dinding gardu.
- Pada saat penempatan transformator dalam gardu; harus menggunakan alas besi kanal U, atau plat bordes 5 mm, untuk menjamin tidak rusaknya lantai kerja gardu.
- Seluruh rangkaian listrik harus terhubung dengan terminal transformator melalui sepatu kabel yang memenuhi syarat. Bilamana konduktor kabel yang dipergunakan berbeda dengan terminal transformator, harus menggunakan sepatu kabel bimetal.

¹⁷ Buku PLN 4. 2010. *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan. Hal 24

2.12 Konstruksi SUTM¹⁸

Konstruksi jaringan dimulai dari sumber tenaga listrik / Gardu Induk dengan kabel tanah Tegangan Menengah ke arah tiang pertama saluran udara. Tiang pertama disebut tiang awal, tiang tengah disebut tiang penumpu (line pole) atau tiang penegang (suspension pole), jika jalur SUTM membelok disebut tiang sudut dan berakhir pada tiang ujung (end pole). Untuk saluran yang sangat panjang dan lurus pada titik-titik tertentu dipasang tiang peregang. Fungsi tiang peregang adalah untuk mengurangi besarnya tekanan mekanis pada tiang awal / ujung serta untuk memudahkan operasional dan pemeliharaan jaringan. Topang tarik (guy wire) dapat dipakai pada tiang sudut dan tiang ujung tetapi tidak dipasang pada tiang awal. Pada tempat-tempat tertentu jika sulit memasang guy wire pada tiang akhir atau tiang sudut, dapat dipakai tiang dengan kekuatan tarik besar.

Isolator digunakan sebagai penumpu dan pemegang penghantar pada tiang, hanya dipakai 2 jenis isolator yaitu isolator peregang (hang isolator/suspension isolator) dan isolator penumpu (line-post/pin-post/pin-insulator). Isolator peregang dipasang pada tiang awal / akhir / sudut. Isolator penumpu dipasang pada tiang penumpu dan sudut. Konfigurasi konstruksi (Pole Top Construction) dapat berbentuk vertikal, horizontal atau delta. Konstruksi sistem pembumian dengan tahanan ($R = 12 \text{ Ohm}$, 40 Ohm dan 500 Ohm) atau dengan multi grounded common netral (solid grounded) yaitu dengan adanya penghantar netral bersama TM, TR (Jawa Timur menggunakan system pembumian 500 Ohm , dengan tambahan konstruksi penghantar pembumian di atas penghantar fasa). Isolator dipasang pada palang (cross arm / bracket / travers) tahan karat (Galvanized Steel Profile).

Penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) ini dapat berupa:

- A3C (All Aluminium Alloy Conductor)
- A3C – S (Half insulated A3C, HIC) ; atau full insulated (FIC).
- Full insulated A3C twisted (A3C-TC) Luas penampang penghantar 35 mm^2 , 50 mm^2 , 70 mm^2 , 150 mm^2 , 240 mm^2 .

¹⁸ Buku PLN 1. 2010. *Kriteria Desain Enjineriing Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik* Jakarta Selatan. Bab 4 Hal 18

2.13 Penggunaan Tiang¹⁹

Saluran udara Tegangan Menengah memakai tiang dengan beban kerja (working load) 200 daN, 350 daN dan 500 daN, dengan panjang tiang 11 meter, 12 meter, 13 meter dan 14 meter. Penggunaan tiang dengan beban kerja tertentu disesuaikan dengan banyaknya sirkit perjalur saluran udara, besar penampang penghantar dan posisi/fungsi tiang (tiang awal, tiang tengah, tiang sudut).

2.14 Keandalan Kontinuitas Penyaluran²⁰

Tingkat Keandalan kontinuitas penyaluran bagi pemanfaat tenaga listrik adalah berapa lama padam yang terjadi dan berapa banyak waktu yang diperlukan untuk memulihkan penyaluran kembali tenaga listrik. Secara ideal tingkat keandalan kontinuitas penyaluran dibagi atas 5 tingkat :

- Tingkat - 1 : Pemadaman dalam orde beberapa jam. Umumnya terjadi pada sistem saluran udara dengan konfigurasi radial.
- Tingkat - 2 : Pemadaman dalam orde kurang dari 1 jam. Mengisolasi penyebab gangguan dan pemulihan penyaluran kurang dari 1 jam. Umumnya pada sistem dengan pasokan penyulang cadangan atau sistem loop.
- Tingkat - 3 : Pemadaman dalam orde beberapa menit. Umumnya pada sistem yang mempunyai sistem SCADA.
- Tingkat - 4 : Pemadaman dalam orde detik. Umumnya pada sistem dengan fasilitas automatic switching pada sistem fork.
- Tingkat - 5 : Sistem tanpa pemadaman. Keadaan dimana selalu ada pasokan tenaga listrik, misalnya pada sistem spotload, transformator yang bekerja parallel.

¹⁹ Buku PLN 1. 2010. *Kriteria Desain Enjinering Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik* Jakarta Selatan. Bab 4 Hal 19

²⁰ Buku PLN 1. 2010. *Kriteria Desain Enjinering Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik* Jakarta Selatan. Bab 4 Hal 8



Keputusan untuk mendesain sistem jaringan berdasarkan tingkat keandalan penyaluran tersebut adalah faktor utama yang mendasari memilih suatu bentuk konfigurasi sistem jaringan distribusi dengan memperhatikan aspek pelayanan teknis, jenis pelanggan dan biaya. Pada prinsipnya dengan tidak memperhatikan bentuk konfigurasi jaringan, desain suatu sistem jaringan adalah sisi hulu mempunyai tingkat kontinuitas yang lebih tinggi dari sisi hilir. Lama waktu pemulihan penyaluran dapat dipersingkat dengan mengurangi akibat dari penyebab gangguan, misalnya pemakaian PBO, SSO, penghantar berisolasi, tree guard atau menambahkan sistem SCADA.

2.15 Konsep Perencanaan SUTM²¹

Jaringan distribusi tenaga listrik saluran udara ini, terutama untuk distribusi tenaga listrik yang beroperasi secara radial, dengan jangkauan luas, biaya murah, dengan keandalan kontinuitas penyaluran minimal tingkat-2 (lihat sub-Bab 4.3). Untuk mengurangi luasnya dampak pemadaman akibat gangguan dipasang fasilitas-fasilitas Pole Top Switch / Air Break Switch, PBO, SSO, FCO pada posisi tertentu. Pemakaian Saluran Udara sebagai sistem distribusi daerah perkotaan dapat dilakukan dengan memperpendek panjang saluran dan didesain menjadi struktur *radial open loop*.

Pemakaian penghantar berisolasi guna mengurangi akibat gangguan tidak menetap dan pemasangan kawat petir dapat meningkatkan tingkat kontinuitas penyaluran. Untuk perencanaan di suatu daerah baru, pemilihan PBO, SSO, FCO merupakan satu kesatuan yang memperhatikan koordinasi proteksi dan optimasi operasi distribusi dan sistem pembumian transformator Gardu Induk pada jaringan tersebut. Pada penyulang utama sistem radial, disisi pangkal harus dipasang PBO dengan setiap percabangan dipasang pemutus FCO khusus untuk sistem dengan pembumian langsung. Untuk sistem pembumian dengan tahanan tidak direkomendasikan penggunaan FCO. Pada sistem jaringan tertutup (loop) dengan instalasi gardu phi-section.

²¹ Buku PLN 1. 2010. *Kriteria Desain Enjineri Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik* Jakarta Selatan. Bab 4 Hal 10

2.16 Aspek Perencanaan Jaringan Distribusi²²

Jaringan distribusi Tegangan Menengah saluran udara dipakai umumnya untuk daerah dengan jangkauan luas, daerah padat beban rendah atau daerah-daerah penyangga antara kota dan desa.

Biaya investasi Saluran Udara relatif murah, mudah dalam pembangunannya, mudah pada aspek pengoperasian, akan tetapi padat pemeliharaan. Tingkat kontinuitas rendah dengan konfigurasi sistem umumnya radial (Fishbone).

Jaringan distribusi Tegangan Menengah saluran bawah tanah dipakai umumnya untuk daerah padat beban tinggi (beban puncak lebih dari 2,5 MVA/km² dengan luas minimal 10 km²) dengan jangkauan terbatas. Biaya investasi mahal, sulit dalam pembangunan, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharaan, tingkat kontinuitas tinggi. Pada jaringan dengan saluran bawah tanah selalu direncanakan dalam bentuk “loop” guna menghindari pemadaman (black – out) akibat gangguan.

2.17 Melokalisir Titik Gangguan²³

Mengingat saluran utama TM mempunyai jangkauan yang luas, usaha-usaha mengurangi lama padam pada bagian-bagian/zona-zona pelayanan SUTM dilakukan dengan cara penempatan peralatan pengaman dan pemutus pada titik tertentu di jaringan.

Pada saluran utama dapat dipasang jenis-jenis peralatan pemisah (PMS) atau pemutus beban (LBS) atau peralatan pemutus balik otomatis (PBO). Pada jaringan SUTM yang dapat dimungkinkan pasokan cadangan dari penyulang lain atau konfigurasi kluster dapat di pasang PBO antar penyulang. Perlu dilakukan analisa tersendiri secara lengkap untuk koordinasi kerjanya.

Pada saluran percabangan dapat dipasang peralatan pemisah (PMS), pengaman lebur (FCO) atau Automatic Sectionalizer. Fault Indicator perlu dipasang pada section jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat di pulihkan lebih cepat.

²² Buku PLN 1. 2010. *Kriteria Desain Enjineriing Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik* Jakarta Selatan. Bab 4 Hal 2

²³ Buku PLN 1. 2010. *Kriteria Desain Enjineriing Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik* Jakarta Selatan. Bab 4 Hal 18



2.18 Area Pelayanan SUTM²⁴

Mengingat sifat perencanaannya, jangkauan SUTM dibatasi atas besarnya jatuh tegangan yaitu pada besaran sadapan / tap changer transformator distribusi.

²⁴ Buku PLN 1. 2010. *Kriteria Desain Enjineriing Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik* Jakarta Selatan. Bab 4 Hal 19