

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk membantu menyelesaikan proses pembuatan Proyek Akhir ini, dibutuhkan adanya beberapa referensi yang dapat menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian.

1. PERENCANAAN PEMASANGAN GARDU SISIP P117 DI PT PLN (PERSERO) AREA BANGKA. Membahas mengenai upaya memperbaiki nilai tegangan ujung jaringan dengan penambahan gardu sisip.
Oleh Lisma, Yusro Hakimah, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti Palembang, Jurnal Teknik Elektro, 2003.
2. PT. PLN (Persero) Buku 1. Kriteria Desain *Engineering* Konstruksi Jaringan Distribusi) Menjelaskan mengenai konsep dasar konstruksi jaringan distribusi tenaga listrik mulai dari pembangkitan, transmisi dan gardu induk dan sistem distribusi sambungan pelayanan (konsumen) tegangan menengah dan tegangan rendah.

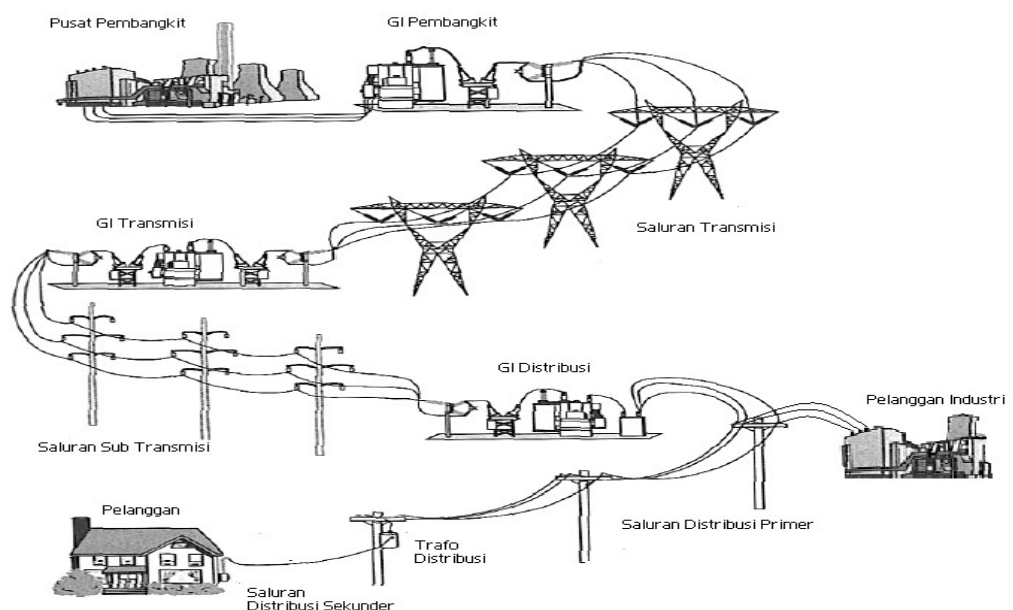
2.2. Landasan Teori

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Fungsi distribusi tenaga listrik adalah menyalurkan tenaga listrik ke pelanggan, serta merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana terdiri atas sistem pembangkitan, sistem transmisi dan gardu induk, sistem distribusi, dan sistem sambungan pelayanan. Sistem – sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik.

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, 154kV, 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.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Untuk menyalurkan atau mendistribusikan tenaga listrik dari sumber daya (Gardu Induk) hingga sampai kepada konsumen dibutuhkan suatu sistem distribusi. Sistem distribusi dapat dikelompokkan kedalam dua tingkat yaitu, sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. Sistem distribusi primer biasa disebut sistem tegangan menengah (TM), sedangkan sistem distribusi sekunder biasa disebut sistem tegangan rendah (TR).

1. Sistem Distribusi Tegangan Menengah

Sistem distribusi primer yang biasa disebut jaringan tegangan menengah merupakan saluran tegangan menengah yang dimulai dari sisi sekunder trafo tenaga di pusat listrik atau sisi sekunder trafo step down di gardu induk-gardu induk sampai pada sisi primer trafo distribusi. Saat ini hampir semua wilayah kerja PLN telah menggunakan tegangan 20 kV.

2. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Di Indonesia, nilai tegangan listrik untuk tegangan rendah telah mengalami perubahan. Hal ini telah dinyatakan di dalam Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 1: 1985) yang menyebutkan bahwa tegangan nominal terminal APP (Alat Pembatas dan Pengukur) sebesar 220 V/380 V diubah sesingkat mungkin sampai dengan tahun 2003 menjadi 230 V/400 V dengan variasi tegangan -10% sampai dengan +5%. Tegangan tersebut berasal dari tegangan menengah 20kV yang diturunkan didalam gardu distribusi melalui transformator Step Down menjadi tegangan 380/220 Volt. Kawat ke-4 (kawat netral) dihubungkan langsung dengan pembumian netral Transformator gardu distribusi dan di beberapa tiang tertentu pada Jaringan.

Sistem Jaringan Distribusi tegangan rendah menyalurkan energi listrik disepanjang jalan, lorong, sedekat mungkin kepada para pelanggan, baik konsumen rumah tangga, dan konsumen industri.

2.2.1. Macam-macam gardu

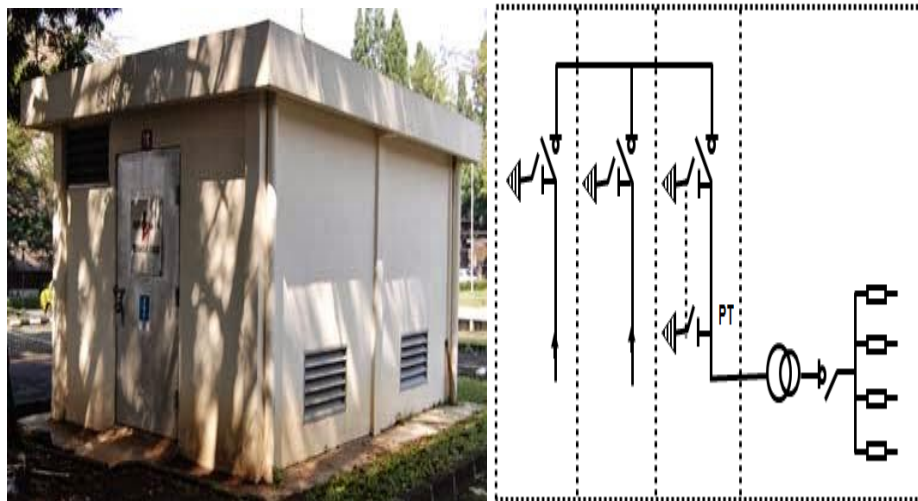
Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi PLN yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk mendistribusikan tenaga listrik pada konsumen atau pelanggan, baik itu pelanggan tegangan menengah maupun pelanggan tegangan rendah.

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas:

1. Jenis pemasangannya, yaitu gardu pasang luar dan pasang dalam. Gardu pasang dalam diantaranya adalah gardu beton dan gardu kios, sedangkan gardu pasang luar terdiri dari gardu portal dan gardu cantol.

- a. Gardu distribusi pasangan dalam

Gardu distribusi pasangan dalam adalah gardu konstruksi tembok dengan kapasitas transformator antara 315,400kVA sampai dengan 630 kVA, dipakai untuk daerah padat beban tinggi dengan konstruksi instalasi yang berbeda dengan gardu pasangan luar. Gardu beton dipasok dari baik jaringan saluran udara ataupun saluran kabel tanah. Berikut merupakan gardu tembok/gardu beton dan single line diagram dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Gardu beton dan single line diagram

Gardu tembok atau beton dipasang baik dari jaringan saluran udara ataupun saluran kabel tanah, seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksinya pasangan batu dan beton (Masonry Wall Building) berupa bangunan dari bahan tembok dengan dinding dilapisi semen, atap cor beton, lantai semen dan pintu dari bahan besi untuk menempatkan peralatan listriknya ialah Kubikel, Trafo, PHB-TR dan peralatan lainnya. Gardu beton harus mempunyai persyaratan fisik yang cukup memadai guna memudahkan pada waktu pelaksanaan konstruksi instalasi, operasi dan pemeliharaan. Pintu minimal lebar 120 cm, ventilasi tidak kurang dari 20% luas dinding, cukup tersedia akses keluar masuk gardu, tinggi ruang minimal 3 meter, elevasi dasar lantai gardu tidak kurang dari 20 cm dari resiko tinggi kemungkinan banjir. Ruang gardu harus memberikan cukup ventilasi untuk menjaga ambient temperature rata-rata 40° C. Terdapat 2 penggunaan gardu, yaitu sebagai gardu distribusi (GD) untuk pelayanan umum dan sebagai gardu hubung (GH).

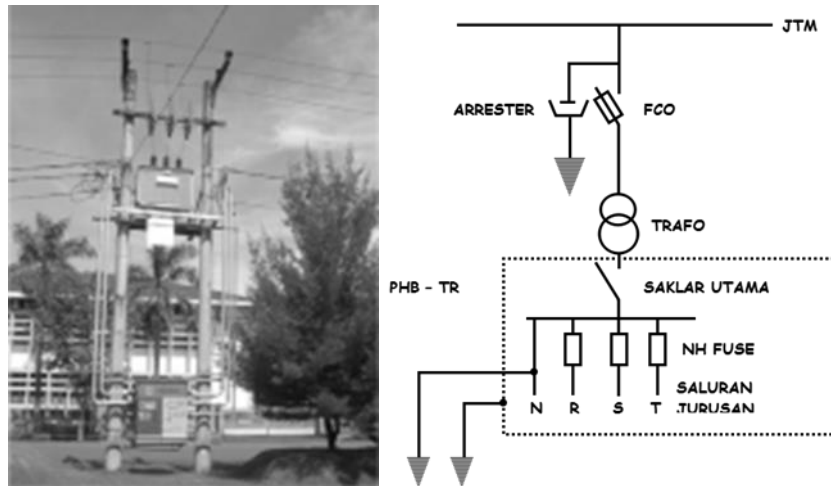
Mengingat tidak terdapatnya ruangan khusus untuk tegangan rendah, maka penempatan perlengkapan hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR) dan perlengkapan hubung bagi tegangan menengah (PHB-TM) dalam gardu disusun dengan memperhatikan keamanan dan keselamatan.

Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah di tempatkan pada sisi masuk sebelah kiri atau sebelah kanan. Selanjutnya susunan PHB-TM tidak kurang lebar 1 meter dan jarak bagian belakang PHB dengan dinding minimal 60 cm. Cukup tersedia ruang antara petugas berdiri dengan dengan PHB-TR minimal 75 cm. Ruang gardu harus dilengkapi man-hole dan tersedia tempat untuk cadangan tambahan kubikel PHB-TM sekurang-kurangnya 1(satu) buah.

b. Gardu distribusi pasangan luar

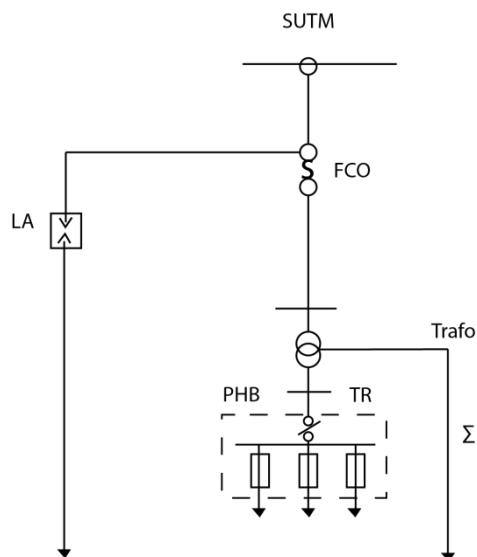
Secara garis besar gardu distribusi pasangan luar menurut konstruksi menitikberatkan kepada sistem proteksi gardu portal dan komponen utama gardu portal secara teori dasar gardu portal merupakan salah satu dari jenis konstruksi gardu tiang, yaitu gardu distribusi tenaga listrik tipe terbuka (*out-door*), dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. tempat kedudukan transformator berjarak 3 meter di atas permukaan tanah. dengan sistem proteksi di bagian atas dan papan hubung bagi tegangan di bagian bawah untuk memudahkan kerja teknis dan pemeliharaan.

Konstruksi gardu distribusi pasangan luar tipe portal terdiri atas *fused cut out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat trafo sisi 20 kV dengan elemen pelebur atau NH fuse pada sisi tegangan rendah dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir. Elektroda pembumian dipasang pada masing-masing *lightning arrester* dan pembumian titik netral transformator sisi Tegangan Rendah. Kedua elektroda pembumian tersebut dihubungkan dengan penghantar yang berfungsi sebagai ikatan penyama potensial yang digelar di bawah tanah. Berikut merupakan gardu portal dan single line diagram pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Gardu portal dan single line diagram

Gardu portal adalah gardu listrik dengan konstruksi menggunakan dua tiang. Transformator dipasang pada bagian atas sedangkan lemari panel atau PHB-TR pada bagian bawah. Pada gardu portal RMU adalah gardu listrik dengan konstruksinya sama dengan gardu portal, dengan penempatan kubikel jenis RMU dalam lemari panel (*Metalclad*) yang terhindar dari air hujan dan debu, digunakan jaringan SKTM.



Gambar 2.4 Diagram satu garis gardu portal.

2. Jenis konstruksinya, yaitu gardu beton, gardu tiang dan gardu kios.

a. Gardu tembok (Gardu beton)

Gardu tembok adalah gardu trafo atau gardu hubung yang secara keseluruhan konstruksinya tersebut terbuat dari tembok/beton. Tipe dari bangunan ini bermacam-macam sesuai dengan lokasi dan kebutuhan. Jumlah trafo yang dapat ditampung dalam gardu ini dapat lebih dari satu buah, dimana hal ini tergantung dari kebutuhan dan lokasi yang ada.

b. Gardu kios (Gardu besi)

Gardu kios adalah gardu yang dibangun keseluruhannya terbuat dari plat besi dengan konstruksi seperti kios. Bangunannya terdiri dari rangka besi dan dindingnya dari seng, serta lantainya dari kayu atau beton. Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* atau kombinasinya yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton. Karena sifat mobilitasnya, transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum 400 kVA, dengan 4 jurusan tegangan rendah.

c. Gardu portal (Gardu tiang)

Gardu portal merupakan salah satu dari jenis konstruksi gardu tiang, yaitu gardu distribusi tenaga listrik tipe terbuka (*out-door*) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang-kurangnya 3 meter di atas permukaan tanah dengan sistem proteksi dibagian atas dan Papan Hubung Bagi Tegangan dibagian bawah untuk memudahkan kerja teknis dan pemeliharaan.

3. Jenis penggunaannya, yaitu gardu pelanggan umum, gardu pelanggan khusus, dan gardu hubung.

2.2.2. Komponen utama konstruksi gardu distribusi

Macam-macam komponen utama gardu distribusi adalah sebagai berikut:

1. Transformator distribusi 3 fasa

Untuk transformator 3 fasa merujuk pada SPLN ada tiga tipe vektor grup yang digunakan oleh PLN, yaitu Yzn5, Dyn5, dan Ynyn0.

2. Transformator *Completely Self Protected* (CSP)

Transformator CSP adalah transformator distribusi yang sudah dilengkapi dengan pengaman lebur (*fuse*) pada sisi primer dan LBS (*Load Break Switch*) pada sisi sekunder.

3. PHB sisi tegangan menengah (PHB-TM)

Berikut ini adalah komponen utama PHB-TM yang sudah terpasang secara lengkap dan biasa disebut dengan kubikel TM:

- a. *Disconnecting Switch* (DS) berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20kV. Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban.
- b. *Load Break Switch* (LBS) berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau kabel keluar gardu distribusi. Kubikel LBS dilengkapi dengan sakelar pembumian yang bekerja secara interlock dengan LBS. Untuk pengoperasian jarak jauh harus dilengkapi catu daya penggerak.
- c. *Circuit Breaker* (CB) berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan hubung singkat.
- d. LBS-TP (*Transformer Protection*) merupakan transformator distribusi dengan daya ≤ 630 kVA pada sisi primer dilindungi pembatas arus dengan pengaman lebur jenis HRC (*High Rupturing Capacity*). Peralatan kubikel proteksi transformator, dilengkapi dengan LBS yang dipasang sebelum pengaman lebur. Untuk gardu

kompak, komponen proteksi dan LBS dapat saja sudah terangkai, dan disebut juga *Ring Main Unit* (RMU).

4. PHB sisi tegangan rendah (PHB-TR)

PHB-TR adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih perlengkapan hubung bagi tegangan rendah dengan peralatan control, peralatan ukur, dan kendali yang saling berhubungan. Keseluruhannya dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian penyangganya. Sebagai peralatan sakelar utama saluran masuk PHB-TR, dipasang pemutus beban (LBS) atau NFB (*No Fused Breaker*). Pengaman arus lebih (*Over Current*) jurusan disisi tegangan rendah pada PHB-TR dibedakan atas:

- a. *No Fused Breaker* adalah *breaker*/pemutus dengan sensor arus, apabila ada arus yang melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas *breaker*, maka sistem magnetik dan bimetalik pada peralatan tersebut akan bekerja dan memerintahkan *breaker* melepas beban.
- b. Pengaman lebur (Sekering) berfungsi untuk menjaga atau mengamankan rangkaian berikut dengan peralatan yang tersambung dari kerusakan.
- c. Pelebur tabung semi terbuka.
- d. Pelebur tabung tertutup (tipe NH atau NT).

5. Peralatan pengukur terdiri atas:

- a. Transformator tegangan – *Potential Transformator* (PT) yang berfungsi untuk mentransformasikan besaran tegangan tinggi ke besaran tegangan rendah guna pengukuran atau proteksi dan sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur untuk diproteksikan dengan alat ukurnya/proteksinya.
- b. Transformator arus – *Current Transformator* (CT) adalah salah satu peralatan di gardu distribusi, fungsinya untuk mengkonfersi besaran arus yang besar ke arus kecil guna pengukuran sesuai batas alat ukur, juga sebagai proteksi serta isolasi sirkuit sekunder dari sisi primernya.

6. Peralatan *switching* dan pengaman sisi tegangan menengah.
 - a. *Fused Cut Out* (FCO) merupakan pengaman lebur untuk gardu distribusi pasangan luar dipasang pada FCO dalam bentuk *Fuse Link*.
 - b. *Lightning Aresster* (LA) untuk melindungi transformator distribusi, khususnya pada pasangan luar dari tegangan lebih akibat surja petir.
 - c. Konektor adalah komponen yang dipergunakan untuk menyadap atau mencabangkan penghantar SUTM ke gardu.

2.2.3. Rugi daya

Susut daya listrik merupakan persoalan krusial yang dihadapi oleh PT.PLN dan belum dapat sepenuhnya terpecahkan. Pemadaman bergilir, kemudian dilakukan untuk menghindarkan sistem mengalami pemadaman total (*totally black out*). Persoalan kualitas daya merupakan persoalan lain yang diantaranya disebabkan oleh kekurangan pasokan daya listrik. Persoalan ini meliputi tegangan yang buruk, frekuensi tegangan yang tidak stabil serta distorsi harmonik yang berlebihan.

Ada beberapa persoalan yang menyebabkan terjadinya penyusutan daya antara lain penyusutan daya listrik secara teknik dan penyusutan daya listrik secara non teknis yaitu dapat dilihat sebagai berikut:

1. Penyusutan daya secara teknis

Penyusutan daya secara teknis biasanya disebabkan adanya kesalahan pada sistem kelistrikannya antara lain:

- a. Adanya kerusakan pada peralatan listrik yang berada di pembangkit ataupun PLN antara lain:
 - 1) Kerusakan yang terjadi pada peralatan mekanik yang berada di pusat pembangkit.

- 2) Kerusakan yang terjadi pada jaringan transmisi seperti terlalu jauhnya jarak pembangkit dari konsumen dan terjadi kerusakan pada saluran kabelnya.
 - 3) Adanya pemakaian peralatan dan konstruksi jaringan (komponen) yang tidak memenuhi syarat sehingga menimbulkan kerusakan pada peralatan.
 - 4) Kerusakan pada peralatan komponen pendukung jaringan seperti kerusakan pada alat ukur.
- b. Kesalahan manusia atau *human error*
- 1) Kesalahan yang terjadi dari pihak PLN yaitu kesalahan dalam membaca alat ukur.
 - 2) Kurangnya perhatian terhadap hasil pekerjaan penyambungan kawat penghantar.
 - 3) Kurangnya perhatian terhadap hasil pekerjaan pemasangan atau pemeliharaan jaringan yang kurang baik.
 - 4) Adanya pemakaian bahan alat listrik yang kurang baik atau tidak memenuhi standar sehingga memudahkan alat yang dipergunakan cepat rusak atau dapat menimbulkan impedansi yang lebih tinggi.
 - 5) Adanya pemakaian konstruksi jaringan dan peralatan (komponen) yang tidak memenuhi syarat sehingga dapat menimbulkan kerugian.
2. Penyusutan daya secara non teknis disebabkan oleh adanya kesalahan disebabkan oleh adanya kesalahan di luar sistim kelistrikannya, antara lain:
- a. Bencana alam seperti banjir, gempa, angin topan dan lain-lain.
 - b. Kondisi sarana dan prasarana pekerjaan.
 - c. Kondisi pengetahuan dan keterampilan.
 - d. Adanya kesalahan yang dilakukan oleh konsumen seperti pencurian daya dan penggunaan energy listrik secara sembarang.

Dalam proses penyaluran tenaga listrik ke para pelanggan (dimulai dari pembangkit, transmisi dan distribusi) terjadi rugi-rugi teknis (*losses*) yaitu rugi daya dan rugi energi. Rugi teknis adalah pada penghantar saluran, adanya tahanan dari penghantar yang dialiri arus sehingga timbulah rugi teknis (I^2R) pada jaringan tersebut. Misalnya pada mesin-mesin listrik seperti generator, trafo dan sebagainya, adanya histerisis dan arus pusar pada besi dan belitan yang dialiri arus sehingga menimbulkan rugi teknis pada peralatan tersebut.

Rugi teknis pada sistem distribusi merupakan penjumlahan I^2R atau rugi tahanan dan dapat dengan mudah diketahui bila arus puncaknya diketahui. Rugi teknis dari jaringan tenaga listrik tergantung dari macam pembebanan pada saluran tersebut (beban merata, beban terpusat). Rugi teknis pada transformator terdiri dari rugi beban nol dan rugi pada waktu pembebanan. Rugi pada beban nol dikenal dengan rugi besi, dan tidak tergantung dari arus beban, sedangkan rugi pada waktu pembebanan dikenal dengan rugi tembaga yang nilainya bervariasi sesuai dengan kuadrat arus bebannya.

2.2.4. Upaya penanganan mengurangi rugi daya

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi operasi sistem tenaga listrik dan mengurangi kerugian daya. Upaya dilakukan di sisi pembangkitan dan juga di pihak PLN antara lain:

1. Dipihak pembangkit dan gardu induk
 - a. Program perbaikan sambungan, sadapan, sepatu kabel dan kawat/penghubungnya pada instalasi jaringan.
 - b. Program pemeliharaan/perbaikan trafo (bergaransi).
 - c. Program pembebanan trafo dan perubahan tap trafo.
 - d. Program pemasangan kapasitor shunt pada sisi sekunder trafo daya dan pada penyulang (*feeder*) pada jaringan.
 - e. Program penjadwalan optimal pembangkit beserta peralatan secara berkala.

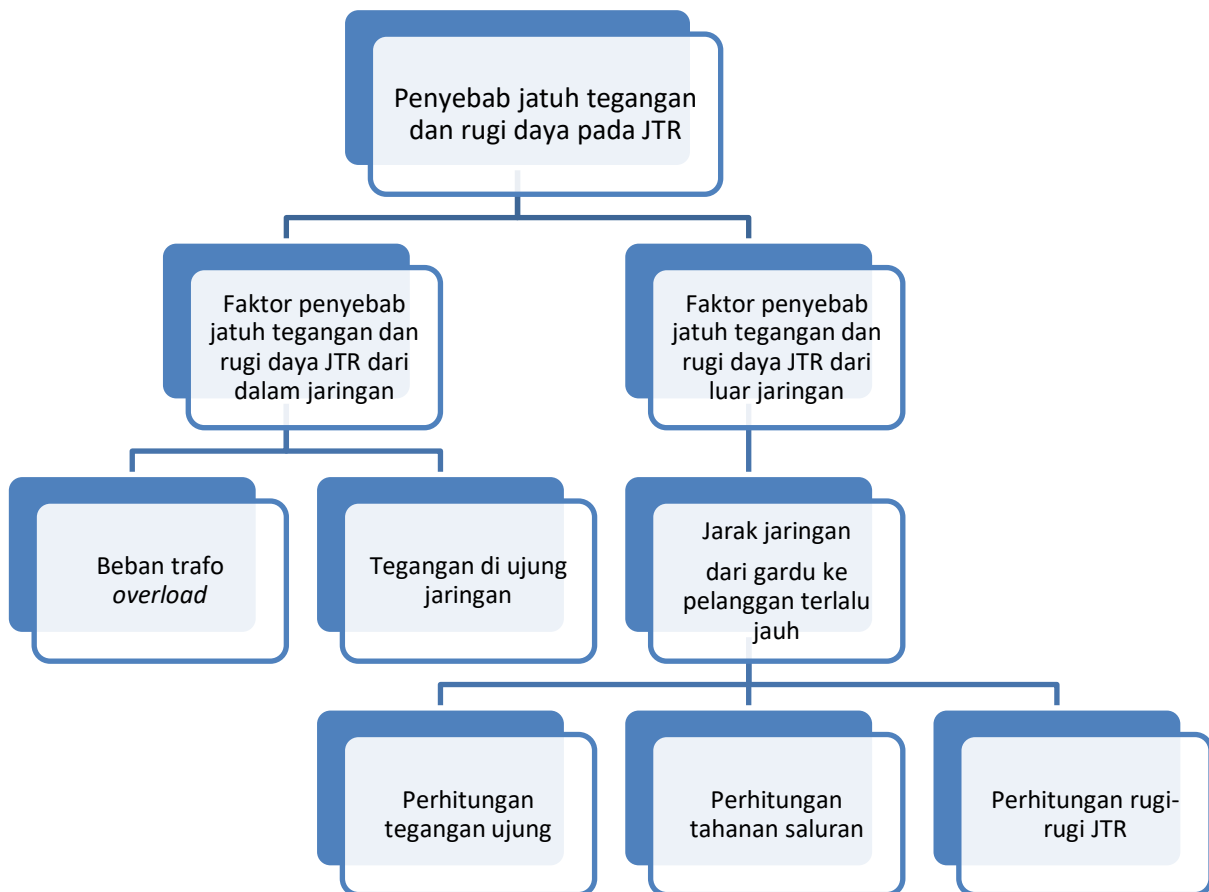
2. Pihak PLN

- a. Melakukan alokasi optimal daya reaktif untuk menekan rugi-rugi daya penyaluran.
- b. Melakukan pengaturan optimal aliran daya listrik (*optimal power flow*) untuk menurunkan rugi daya penyaluran.
- c. Mengoptimalkan kapasitas pembangkitan.
- d. Program perubahan tegangan rendah dari tegangan 110/127 V menjadi 220/380 V dimana pada daya yang sama arus beban akan menjadi lebih kecil.
- e. Program perbaikan faktor kerja ($\cos \phi$) beban menjadi 0,9. Dengan faktor kerja 0,9 pada daya yang sama arus akan menjadi lebih kecil dibanding beban yang mempunyai faktor kerja kurang dari 0,9.
- f. Program pemeliharaan komponen peralatan yang berkualitas dan tepat.
- g. Program pemasangan trafo atau gardu sisipan dan tindak lanjutannya.
- h. Program pemeliharaan peralatan secara berkala.
- i. Melakukan pengecekan pada jaringan instalasi listrik kepada konsumen.

Selain upaya yang dilakukan disisi pembangkit dan PLN, ada juga beberapa upaya lain yang tidak kalah penting untuk meningkatkan efisiensi operasi sistem tenaga listrik dan mengurangi kerugian daya. Upaya yang tidak kalah penting berada di sisi pelanggan atau konsumen sendiri antara lain:

1. Menggunakan daya listrik untuk keperluan rumah tangga secara efisien serta memenuhi standar dan ketentuan yang diberikan oleh PLN.
2. Tidak melakukan pemakaian energi listrik secara tidak sah (pencurian).

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.5 *Flowchat* kerangka pemikiran