

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam besaran probabilitas. Indeks keandalan titik beban yang biasanya digunakan meliputi laju pemutusan beban rata-rata waktu keluar rata-rata dan lama pemutusan beban rata-rata. Indeks keandalan sistem yang digunakan sebagai paramater keandalan terdapat dua paramater yaitu System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) dan System Average Interruption Duration Index (SAIDI), menurut berabarapa sumber yaitu :

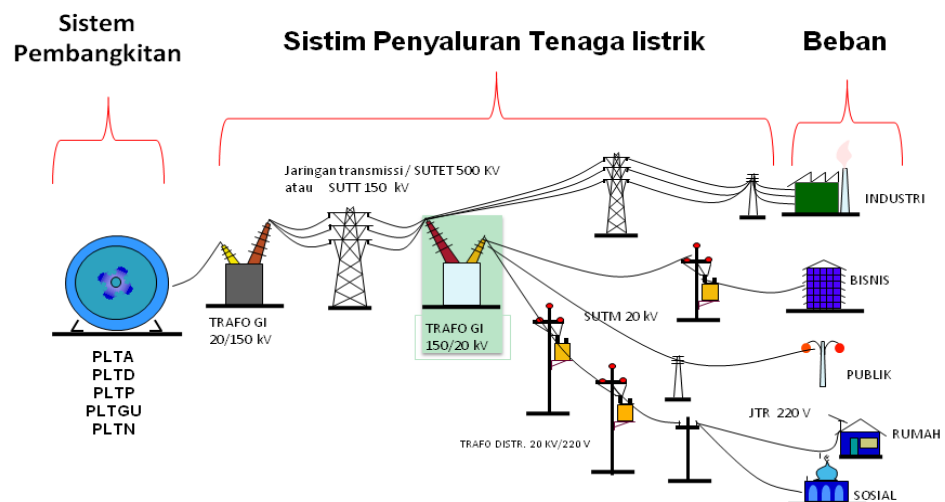
1. PT.PLN (PERSERO). (1985). SPLN 59 mendefinisikan bahwa : Suatu besaran untuk mendabandingkan penampilan sistem distribusi. Dua indeks keandalan yang paling sering digunakan dalam sistem distribusi adalah indeks frekuensi pemadam rata-rata (f) dan indeks lama pemadaman rata-rata (d).
2. Jurnal yang berjudul *Keandalan Jaringan Tegangan Menengah 20 KV di Wilayah Area Pelayanan Jaringan (APJ) Padang PT. PLN (Persero) Cabang Padang*. Penelitian ini bertujuan menghitung indeks keandalan didasarkan pada indeks keandalan berbasis sistem yaitu SAIDI dan SAIFI. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis indeks keandalan berbasis sistem pada jaringan tegangan menengah Area Pelayanan Jaringan (APJ) Pa dang tahun 2009 termasuk tingkat keandalan rendah. (Anonim,2012).

2.2. Landasan Teori

Bab ini menjelaskan mengenai sistem distribusi tenaga listrik secara umum Tenaga listrik di bangkitkan pada pusat – pusat listrik seperti PLTU, PLTG, PLTA, dan PLTD yang kemudian disalurkan melalui saluran transmisi yang terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator

penaik tegangan yang terdapat di pusat listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi pada PLN mempunyai tegangan 66 kV, 150 kV dan 500 kV. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di gardu induk untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan menjadi tegangan menengah atau disebut juga tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV dan 6 kV. Tetapi, saat ini tegangan PLN pada distribusi primer yang berkembang yaitu 20 kV.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer, maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam setiap gardu distribusi menjadi tegangan rendah atau tegangan sekunder yaitu 380/220 volt yang kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah ke rumah pelanggan melalui sambungan rumah.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, dan distribusi yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Fungsi dari beberapa komponen itu adalah :

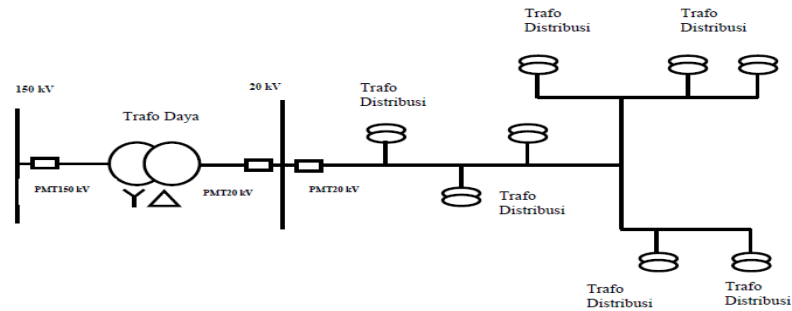
1. Pembangkitan merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dll. menjadi energi listrik.
2. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
3. Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah :
 - a. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan).
 - b. merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan Pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

2.2.1. Konfigurasi Jaringan Distribusi

Sistem distribusi tegangan menengah dapat dikelompokkan menjadi 4 model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (*Loop*), dan Jaringan Spindel. Beberapa jaringan tersebut akan dijelaskan seperti di bawah ini :

1. Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan pola radial seperti gambar adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis.



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Radial

Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

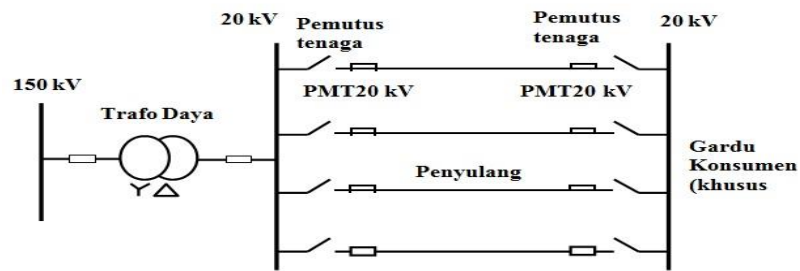
Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Keuntungan dari sistem ini adalah tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem lain. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya.

Kekurangan keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan padam.

Kerugian lainnya yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada di ujung saluran.

2. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi *Tie Line* seperti gambar digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dll).

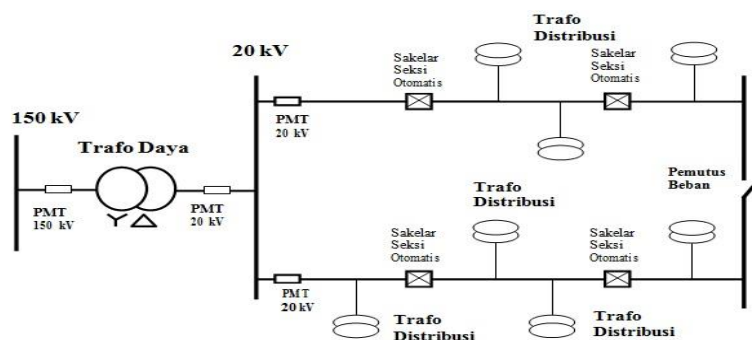


Gambar 2.3 Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line)

Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan sakelar pengubah otomatis (*automatic change over switch / automatic transfer switch*), setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan pindah ke penyulang lain.

3. Jaringan Lingkar (Loop)

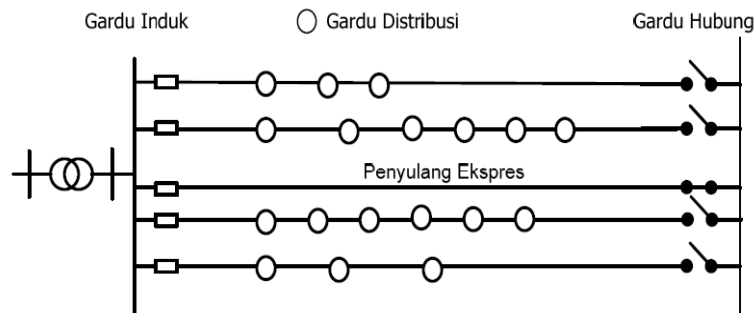
Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang pemutus beban. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisasi.



Gambar 2.4 Jaringan Lingkar (Loop)

4. Jaringan Spindel

Jaringan spindel merupakan gabungan dari sistem radial dan loop sehingga memiliki keandalan sistem yang tinggi dan ekonomis. Namun, jaringan ini biasanya diterapkan pada jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah tegangan menengah.



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Spindel

Pada struktur spindel ini selalu ada penyulang cadangan khusus yang lebih dikenal dengan sebutan penyulang ekspres. Penyulang ekspres ini tidak mencatu gardu-gardu distribusi, tetapi merupakan penyulang penghubung antara Gardu Induk dengan Gardu Hubung dan dimaksud untuk menjaga kelangsungan pemasokan tenaga listrik pada pelanggan-pelanggan, bila terjadi gangguan pada suatu penyulang yang memasok gardu-gardu distribusi.

2.2.2. Sistem Distribusi Jaringan Spindel Tegangan Menengah 20 kV

Jaringan distribusi spindel (seperti gambar 2.3) merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota – kota besar.

Adapun operasi sistem jaringan sebagai berikut :

1. Dalam keadaan normal semua saluran di gardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.

2. Dalam keadaan normal saluran express tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
3. Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua ujung seksi yang terganggu di buka. Kemudian seksi – seksi sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan seksi – seksi gardu hubung mendapat suplai dari gardu hubung melalui saluran express.

Sistem jaringan spindel cocok untuk memenuhi kebutuhan antara lain :

1. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
2. Menekan rugi – rugi akibat gangguan.
3. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
4. Perluasan jaringan mudah dilakukan dari tegangan yang berbeda, pengukuran dan pengamanan tenaga listrik serta pengaturan daya.

2.2.3. Jenis - jenis Penyulang dalam Sistem Distribusi

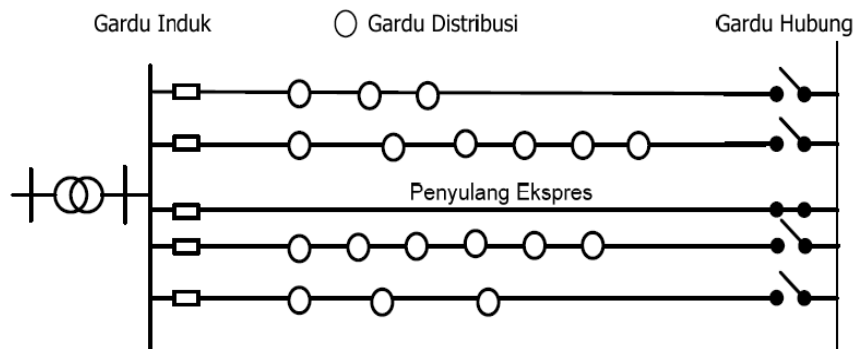
Penyulang merupakan satu saluran tiga fasa (saluran udara atau saluran kabel) yang berawal dari rel dan berakhir pada gardu hubung. Masing – masing penyulang diberi nama agar memudahkan membedakan antara penyulang yang satu dengan penyulang lain. Istilah penyulang dapat disebut juga dengan kata *feeder* ada dua jenis penyulang yang terdapat pada sistem jaringan distribusi yaitu :

1. Penyulang Biasa

Penyulang biasa merupakan penyulang yang berbeban atau penyulang yang dipakai untuk menyalurkan tegangan menengah.

2. Penyulang Cadangan (*Express Feeder*)

Penyulang cadangan merupakan penyulang yang disediakan khusus untuk cadangan penyaluran beban pada saat terjadi gangguan. Pemakaian penyulang cadangan merupakan penyulang yang berhubungan langsung dengan GI, GH dan GD.



Gambar 2.6 Penyulang cadangan

Sistem struktur jaringan tegangan menengah 20 kV yang sering digunakan saat ini adalah sistem spindel. Sistem spindel adalah suatu pola konfigurasi jaringan dari pola *radial* dan ring. Spindel terdiri dari beberapa *feeder*, yang tegangannya diberikan dari gardu induk dan tegangan tersebut berakhir pada gardu hubung (GH). Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa *feeder* aktif dan sebuah *feeder* cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung.

2.2.4. Gardu Distribusi

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi perlengkapan hubung bagi tegangan menengah (PHB-TM), transformator distribusi (TD) dan perlengkapan hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan tegangan menengah (TM 20 kV) maupun tegangan rendah (TR 220/380V).

2.2.5. Macam-macam Gardu Distribusi

1. Gardu distribusi

Gardu yang dilengkapi dengan *MV Cell*. Pada *MV Cell* terdapat tiga bagian saluran 20 kV yang salah satunya berhubungan dengan trafo distribusi. Trafo distribusi ini akan menurunkan tegangan dari 20 kV ke 220/380 V. Klasifikasi gardu distribusi dari sistem pengatur kontrolnya terbagi atas :

a. Gardu distribusi biasa

Gardu yang tidak dilengkapi dengan *remote control*. Pengoperasiannya dilakukan secara manual.

b. Gardu distribusi *middle point*

Gardu yang dilengkapi dengan peralatan *remote control*. Pemilihan gardu untuk menjadi gardu *middle point* berdasarkan letak gardu ditengah – tengah *feeder*.

2. Gardu Hubung

Gardu ujung dari sistem spindel. Pada gardu hubung tidak memiliki trafo distribusi, jadi tegangan yang masuk sama dengan tegangan yang keluar.

Jenis perlengkapan hubung bagi tegangan menengah pada gardu distribusi berbeda sesuai dengan jenis konstruksi.

Berdasarkan konstruksinya, gardu distribusi terdiri atas 3 bagian :

a. Gardu Beton

Gardu yang transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton

Gardu distribusi jenis beton untuk konsumen umum dapat dilengkapi dengan fasilitas :

- 1) Sebuah kubikel tipe pemisah (*Disconnection Switch/DS*). Kubikel ini digunakan untuk melayani kabel masuk dari arah gardu induk (GI).
- 2) Sebuah kubikel tipe pemutus beban (*Load Break Switch/LBS*) atau pemutus tengah (PMT). Kubikel ini digunakan untuk melayani kabel keluar.
- 3) Sebuah kubikel pengaman transformator. Kubikel ini terdiri dari atas beberapa pemutus arus yang dilengkapi dengan pengaman lebur.
- 4) Dua buah transformator atau lebih dengan kapasitas maksimum 2x630 kVA.
- 5) Rel tegangan rendah dengan fasilitas *feeder* 4 atau 8 *feeder* TR.

b. Gardu Kios

Gardu yang transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan yang terbuat dari besi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu kios kompak, kios modular dan kios bertingkat. Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan tegangan rendah. Khusus untuk kios kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnyanya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.

c. Gardu Portal

Gardu yang transformator dan keseluruhan instalasinya dipasang pada 2 buah tiang atau lebih. Gardu ini berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik ke pengguna atau pelanggan. Pada gardu portal kapasitas trafo maksimal 400 kVA. Ada dua jenis gardu portal yaitu gardu portal konvensional dan gardu portal *compact*. Gardu portal konvensional memiliki fungsi yang sama dengan gardu portal *compact* hanya saja pada gardu portal *compact* memiliki kubikel dan tidak memiliki *fuse cut out*.

Berdasarkan beban yang dilayani, gardu distribusi dapat dikelompokkan atas 3 bagian :

1) Gardu konsumen umum

Gardu yang berfungsi untuk melayani konsumen umum atau konsumen dengan sambungan daya yang kecil.

2) Gardu konsumen khusus

Gardu yang berfungsi untuk melayani konsumen dengan daya tersambung yang besar yaitu mulai 200 kVA ke atas.

3) Gardu konsumen umum dan khusus

Gardu ini berfungsi untuk melayani konsumen umum (daya kecil) dan konsumen khusus.

2.2.6. Transformator Distribusi

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gendengan/kopling magnetik dan berdasarkan prinsip elektromagnetik.

2.2.7. Unit Gardu Bergerak

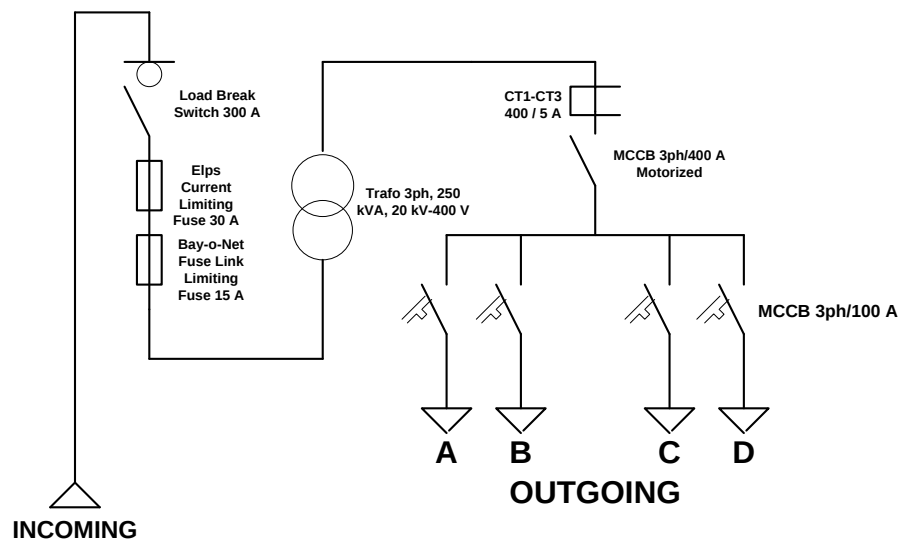
Unit Gardu Bergerak atau lebih dikenal dengan gardu mobil adalah unit bantu suplai tenaga listrik pada saat pemeliharaan ataupun gangguan. Pengoperasian gardu ini hanya bersifat sementara dan dapat dipindah-pindahkan.

Unit Gardu Bergerak dibuat berdasarkan kapasitas gardu-gardu distribusi yang ada pada daerah Jakarta dan Tangerang. Gardu bergerak dibuat 3 jenis berdasarkan kapasitas trafo distribus yang diangkut oleh alat transportasi. Kapasitas UGB 400 kVA, 630 kVA, dan 1000 kVA.

Pada saat ini UGB sangat dibutuhkan untuk menekan lamanya waktu pemadaman pada saat pemeliharaan ataupun gangguan.

Pada dasarnya konstruksi UGB sama seperti gardu distribusi yang ada. Yang membedakan UGB adalah alat transportasi untuk memindahkan unit tersebut. Konstruksi Unit Gardu Bergerak terdiri dari :

1. Trafo ditribusi.
2. Kubikel yang sudah dimodifikasi.
3. Rak TR.
4. Kabel primer.
5. Mobil.



Gambar 2.7. Single Line Diagram Unit Gardu Bergerak.

2.2.8. Unit Trafo Bergerak

Unit Trafo Bergerak atau dikenal dengan trafo mobil adalah unit bantu suplai tenaga listrik pada saat pemeliharaan ataupun gangguan. Pengoperasian trafo ini hanya bersifat sementara atau sebagai instalasi cadangan dan dapat dipindah-pindahkan.

Unit trafo bergerak dibuat berdasarkan kapasitas trafo distribusi yang ada pada daerah Jakarta dan Tangerang. Trafo bergerak dibuat menjadi 3 jenis berdasarkan kapasitas trafo distribusi yang diangkut pada alat transportasi. Kapasitas UTB 400 kVA, 630 kVA, dan 1000 kVA.

Pada saat ini Unit Trafo Bergerak (UTB) sangat diperlukan untuk menekan durasi pemadaman pada saat pemeliharaan ataupun gangguan.

Semakin tingginya kebutuhan listrik pada konsumen dan bergantungnya masyarakat pada pasokan tenaga listrik untuk

kebutuhan sehari-hari. Untuk menekan pemadaman maka pihak pengelola membuat Unit Trafo Bergerak yang berfungsi :

1. Untuk menolong bila ada gangguan atau pemeliharaan pada trafo distribusi.
2. Untuk menjaga kontinuitas pada pelanggan.
3. Untuk menambah beban pada salah satu trafo distribusi dengan cara memparalelkan trafo pada UTB dengan trafo distribusi.

Adapun proses penyambungan *Unit Trafo Bergerak* pada trafo yang mengalami gangguan adalah sebagai berikut :

Koordinasi : Area Pengatur Distribusi (APD), Asman Distribusi, Supervisor Distribusi, Pengatur Tegangan Menengah (PTM), Pengawas Lapangan, Pelaksana pemasangan Unit Trafo Bergerak.

Peralatan Pekerjaan : Unit Trafo Bergerak, radio komunikasi, mobil, lampu sorot, ground cluster, rambu k3, tangga, tool set, rambu termasuk police line, voltage detector, phasa squence, dan AVO meter.

Peralatan K3 : Pakaian kerja, helm pengaman, sepatu bahan isolasi 20 kV, dan sarung tangan isolasi 20 kV.

Pelaksanaan :

1. Persiapan Awal
 - a. Mencatat hasil dari pengukuran beban total, tegangan antar fasa, dan arus pada PHB-TR menggunakan ohm meter serta multi tester sebelum dilakukan pemasangan Unit Trafo Bergerak.
 - b. Koordinasi dengan petugas yang terlibat, membawa semua peralatan yang diperlukan dalam pemasangan Unit Trafo Bergerak, melapor ke piket pengatur area bahwa pekerjaan pemasangan Unit Trafo Bergerak pada trafo yang mengalami gangguan siap di mulai.

2. Manuver Tegangan

- a. Koordinasi petugas antara pengatur area dan pengatur APD untuk pembebasan tegangan pada gardu yang akan diperbaiki.
- b. Menyakinkan bahwa kubikel benar-benar sudah bebas tegangan.
- c. Membuka saklar pemutus beban, kemudian memasukkan saklar pentanahan pada kubikel.

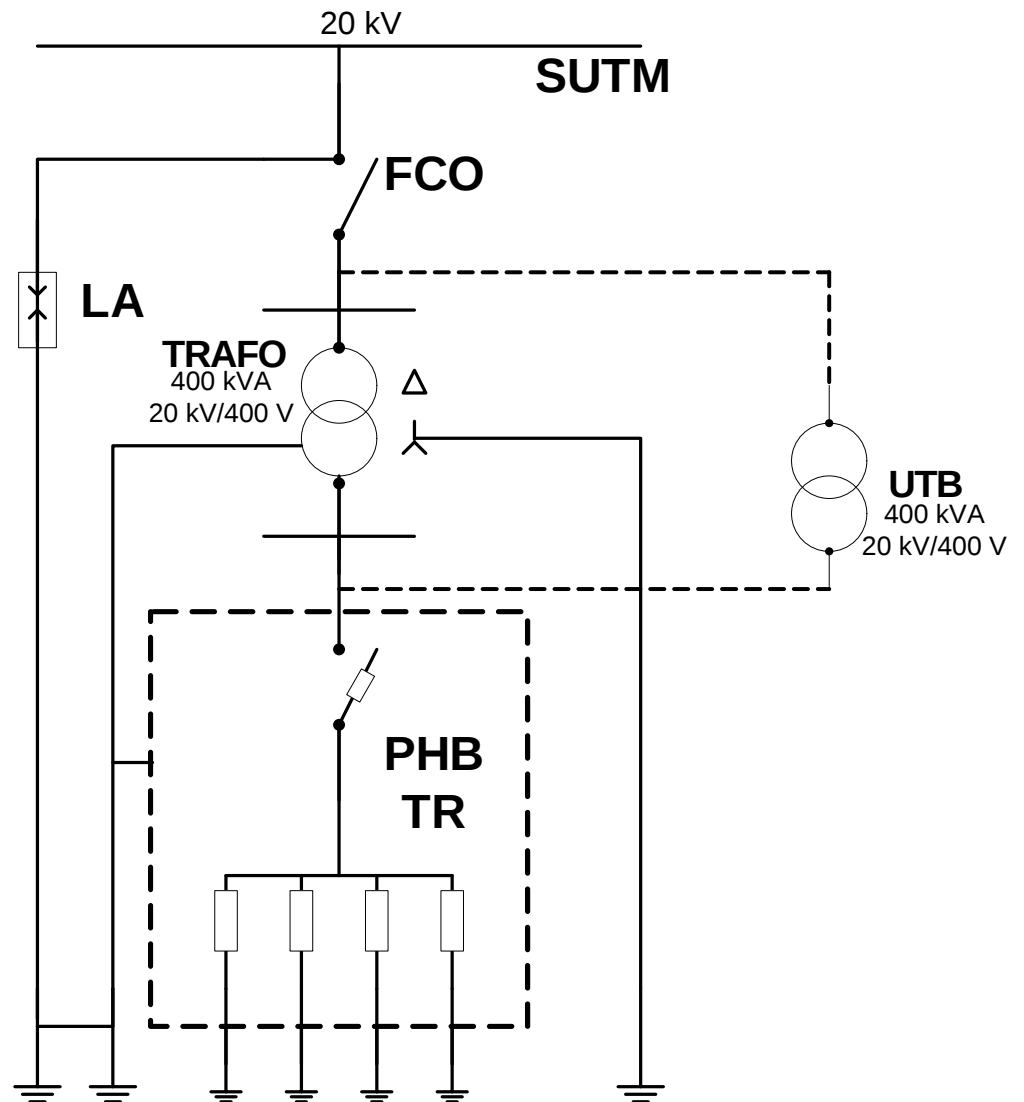
3. Pelaksanaan pemasangan UTB pada trafo yang mengalami gangguan

- a. Pelepasan PB trafo di gardu.
- b. Pengecekan tegangan dengan voltage detector (tester 20 kV).
- c. Pemasangan kabel TM UTB pada jaringan cadangan (terminasi pada kubikel PB).
- d. Pengecekan kembali hasil pekerjaan.

4. Penormalan Tegangan.

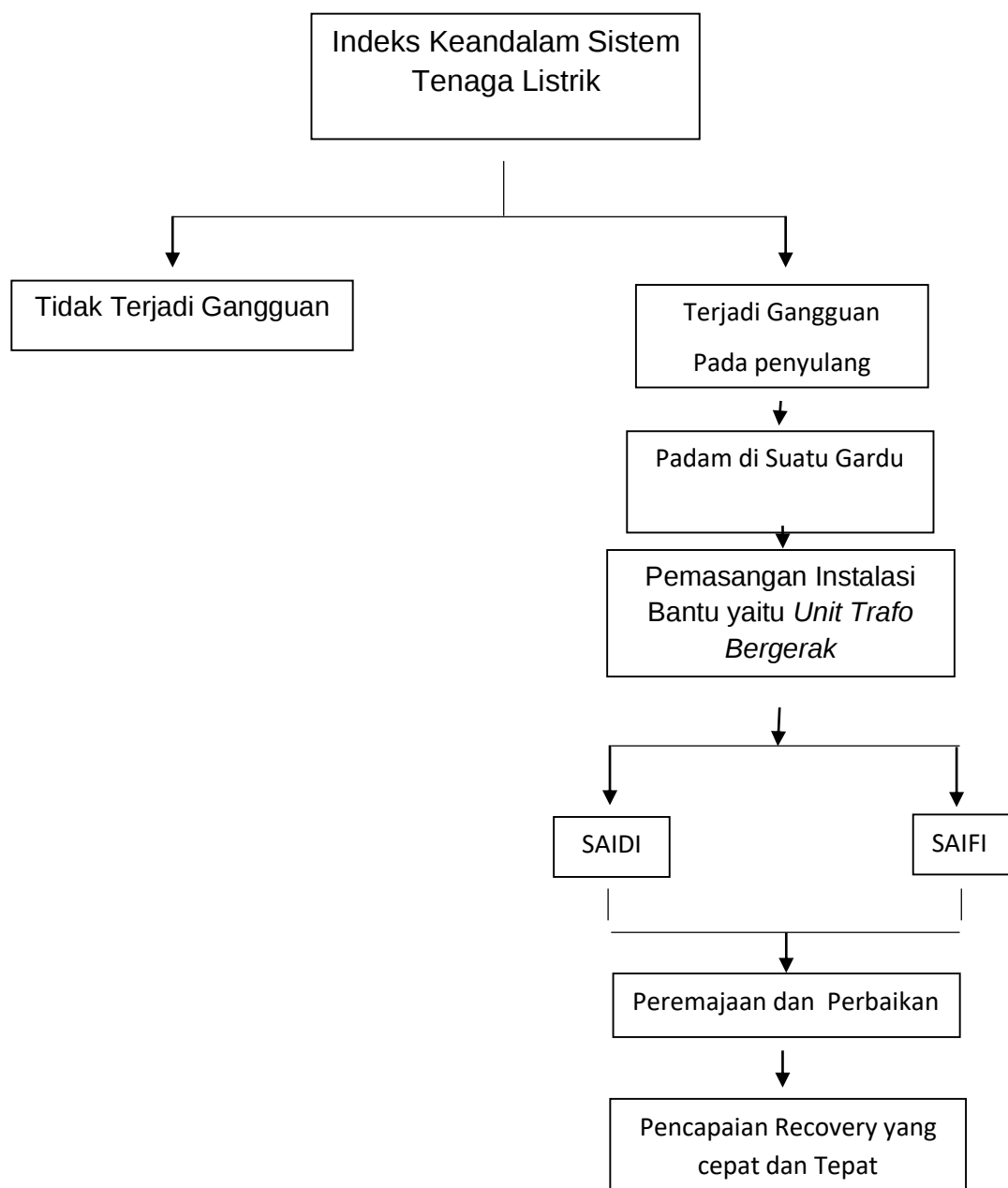
- a. Memeriksa bahwa tidak ada peralatan yang tertinggal di dalam gardu.
- b. Mengembalikan posisi saklar sesuai posisi awal.
- c. Melapor ke pengatur area bahwa revisi gardu telah selesai dan gardu siap dioperasikan.

- d. Mencatat hasil dari pengukuran beban total, tegangan antar fasa, dan arus pada PHB-TR menggunakan ohm meter serta multi tester setelah dilakukan pemasangan UTB.
- e. Membuat laporan hasil pemasangan UTB



Gambar 2.8 Single Line Diagram pemasangan UTB pada gardu tipe portal.

2.3. Kerangka Pemikiran



Gambar 2.9 Kerangka Pemikiran