



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

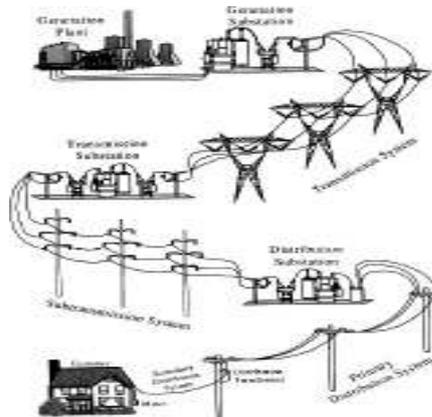
#### 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik<sup>3</sup>

Suatu sistem tenaga listrik merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang terdiri dari pembangkit, saluran transmisi dan gardu induk, dan jaringan distribusi. 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. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini, prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan suatu saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar (melalui jaringan distribusi).

Pada gambar 2.1 dibawah ini dapat dilihat, bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui pusat pembangkit tenaga listrik, gardu induk, saluran transmisi, gardu induk, saluran distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik).

---

<sup>3</sup> Daman Siswanto. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Pertama

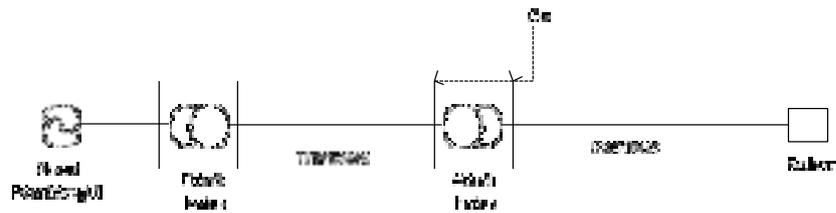


Gambar 2.1. Sistem pendistribusian tenaga listrik.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator step up tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV 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 ( $I^2 \cdot R$ ).

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator step down 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 transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt.

Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Hal ini membuktikan bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik

### 2.1.1 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik<sup>9</sup>

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar 2.3:

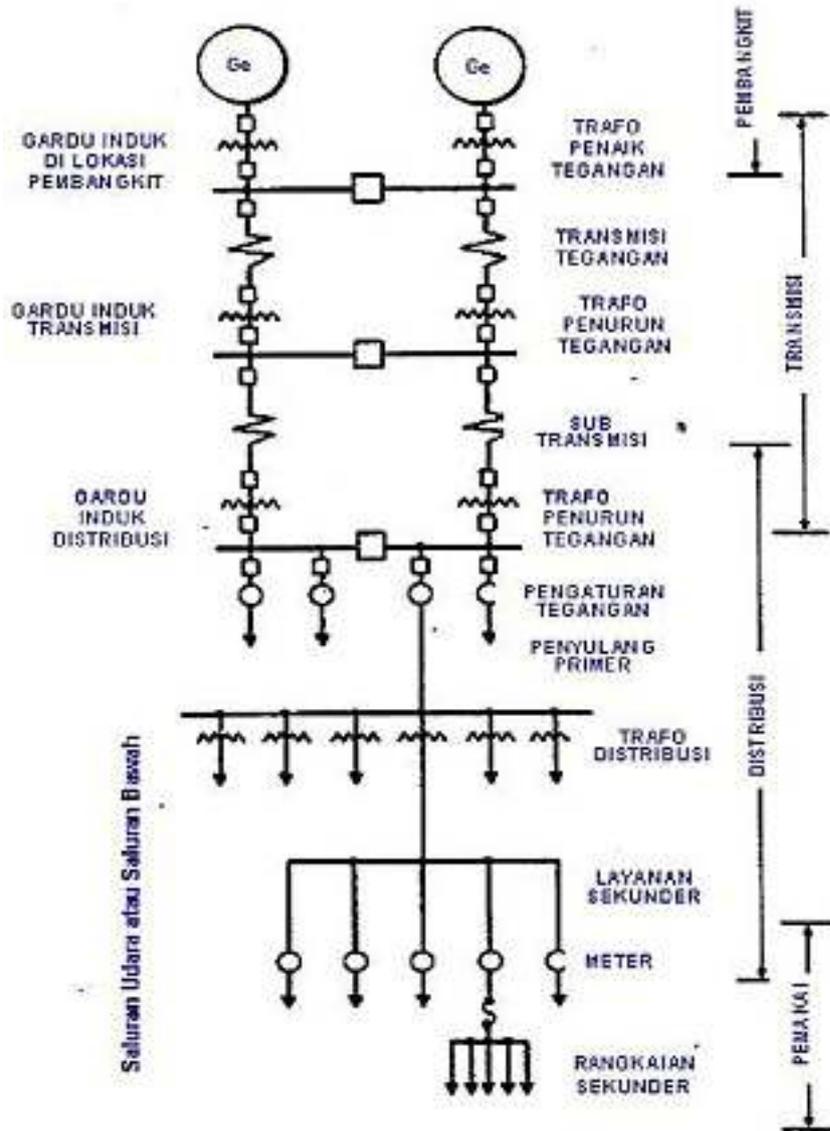
- Daerah I : Bagian pembangkitan (*Generation*)
- Daerah II : Bagian penyaluran (*Transmission*), bertegangan tinggi (HV, UHV, EHV)
- Daerah III : Bagian distribusi primer, bertegangan menengah (6 atau 20 kV).
- Daerah IV: (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah.

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

1. *SUTM*, terdiri dari tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
2. *SKTM*, terdiri dari kabel tanah, *indoor* dan *outdoor termination*, batu bata, pasir dan lain-lain.
3. *Gardu Trafo*, terdiri dari transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat transformator, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, peralatan *grounding*, dan lain-lain.

<sup>9</sup> Suhadi, dkk. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1 dan 3*.

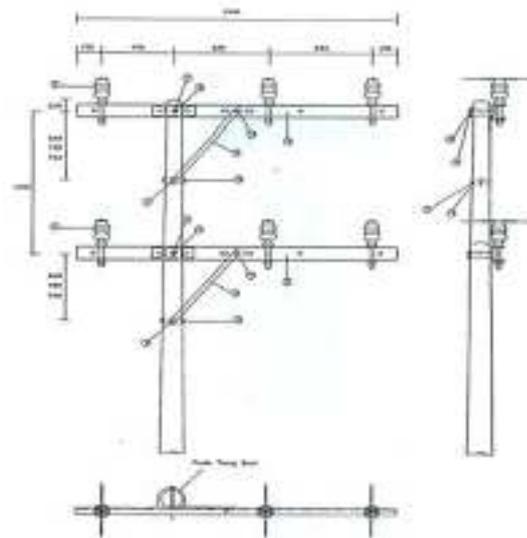
4. *SUTR*, terdiri dari perlengkapan/ material yang sama yang terdapat pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.



Gambar 2.3 Pembagian/Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

### 2.1.2 Jaringan Sistem Distribusi Primer<sup>3</sup>

Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Pusat Pembangkit Tenaga Listrik ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala-gejala korona yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.



Gambar 2.4 Jaringan distribusi primer 20 kV

Untuk tegangan menengah atau tegangan jaringan primer. Biasanya terdiri dari sistem tiga fasa. Jaringan distribusi primer berfungsi menyalurkan daya listrik, menjelajahi daerah asuhan ke gardu / transformator distribusi. Jaringan distribusi primer dilayani oleh gardu hubung atau langsung dari

<sup>3</sup> Daman Siswanto. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Pertama

gardu induk atau dari pusat pembangkit. Sistem distribusi primer ini dapat dibagi berdasarkan system penyaluran serta konfigurasi jaringannya.

### 1. Berdasarkan Sistem Penyaluran<sup>10</sup>

Berdasarkan sistem penyalurannya, jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu dengan :

#### A. Saluran Udara (*Overhead Lines*)

Saluran udara merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang ditumpang pada tiang listrik. Sedangkan saluran bawah tanah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel- kabel yang ditanamkan di dalam tanah. Keuntungan dari saluran udara diantaranya adalah sebagai berikut :

- 1) Lebih fleksibel dan leluasa dalam upaya untuk perluasan beban.
- 2) Dapat digunakan untuk penyaluran tenaga listrik pada tegangan diatas 66 kV.
- 3) Lebih mudah dalam pemasangannya.
- 4) Bila terjadi gangguan hubung singkat, mudah diatasi dan dideteksi.

Kerugian dari saluran udara diantaranya adalah sebagai berikut :

- 1) Mudah terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.
- 2) Untuk wilayah yang penuh dengan bangunan yang tinggi, sukar untuk menempatkan saluran,
- 3) Masalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi, akan mengakibatkan tegangan drop lebih tinggi.

---

<sup>10</sup> Sulasno. 2001. Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro.



- 4) Ongkos pemeliharaan lebih mahal, karena perlu jadwal pengecatan dan penggantian material listrik bila terjadi kerusakan.

#### **B. Saluran Bawah Tanah (*Underground Lines*)**

Keuntungan dari saluran bawah tanah diantaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.
- 2) Tidak mengganggu pandangan, bila adanya bangunan yang tinggi,
- 3) Dari segi keindahan, saluran bawah tanah lebih sempurna dan lebih indah dipandang,
- 4) Mempunyai batas umur pakai dua kali lipat dari saluran udara,
- 5) Ongkos pemeliharaan lebih murah, karena tidak perlu adanya pengecatan.
- 6) Tegangan drop lebih rendah karena masalah induktansi bisa diabaikan.

Kerugian dari saluran bawah tanah diantaranya adalah sebagai berikut :

- 1) Biaya investasi pembangunan lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara,
- 2) Saat terjadi gangguan hubung singkat, usaha pencarian titik gangguan tidak mudah (susah),
- 3) Perlu pertimbangan-pertimbangan teknis yang lebih mendalam di dalam perencanaan, khususnya untuk kondisi tanah yang dilalui.
- 4) Hanya tidak dapat menghindari bila terjadi bencana banjir, desakan akar pohon, dan ketidakstabilan tanah.



## 2. Berdasarkan Bentuk Konfigurasi Jaringan<sup>3</sup>

### A. Sistem Radial Terbuka

Keuntungan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

- 1) Konstruksinya lebih sederhana
- 2) Material yang digunakan lebih sedikit, sehingga lebih murah
- 3) Sistem pemeliharaannya lebih murah
- 4) Untuk penyaluran jarak pendek akan lebih murah

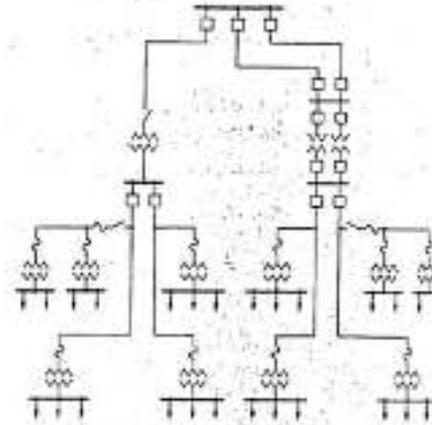
Kelemahan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

- 1) Keterandalan sistem ini lebih rendah
- 2) Faktor penggunaan konduktor 100 %
- 3) Makin panjang jaringan (dari Gardu Induk atau Gardu Hubung) kondisi tegangan tidak dapat diandalkan
- 4) Rugi-rugi tegangan lebih besar
- 5) Kapasitas pelayanan terbatas
- 6) Bila terjadi gangguan penyaluran daya terhenti.

Sistem radial pada jaringan distribusi merupakan sistem terbuka, dimana tenaga listrik yang disalurkan secara radial melalui gardu induk ke konsumen-konsumen dilakukan secara terpisah satu sama lainnya. Sistem ini merupakan sistem yang paling sederhana diantara sistem yang lain dan paling murah, sebab sesuai konstruksinya sistem ini menghendaki sedikit sekali penggunaan material listrik, apalagi jika jarak penyaluran antara gardu induk ke konsumen tidak terlalu jauh.

---

<sup>3</sup> Daman Siswanto. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Pertama



Gambar 2.5. Sistem Jaringan Radial Terbuka

Sistem radial terbuka ini paling tidak dapat diandalkan, karena penyaluran tenaga listrik hanya dilakukan dengan menggunakan satu saluran saja. Jaringan model ini sewaktu mendapat gangguan akan menghentikan penyaluran tenaga listrik cukup lama sebelum gangguan tersebut diperbaiki kembali. Oleh sebab itu kontinuitas pelayanan pada sistem radial terbuka ini kurang bisa diandalkan. Selain itu makin panjang jarak saluran dari gardu induk ke konsumen, kondisi tegangan makin tidak bisa diandalkan, justru bertambah buruk karena rugi-rugi tegangan akan lebih besar. Berarti kapasitas pelayanan untuk sistem radial terbuka ini sangat terbatas.

#### **B. Sistem Radial Paralel**

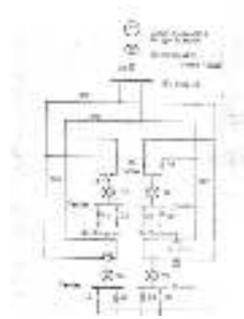
Keuntungan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

- 1) Kontinuitas pelayanan lebih terjamin, karena menggunakan dua sumber
- 2) Kapasitas pelayanan lebih baik dan dapat melayani beban maksimum
- 3) Kedua saluran dapat melayani titik beban secara bersama

- 4) Bila salah satu saluran mengalami gangguan, maka saluran yang satu lagi dapat menggantikannya, sehingga pemadaman tak perlu terjadi.
- 5) Dapat menyalurkan daya listrik melalui dua saluran yang diparalelkan

Kelemahan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

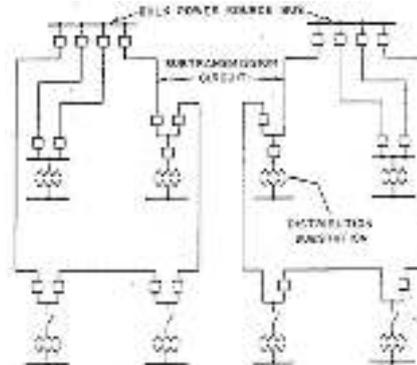
- A. Peralatan yang digunakan lebih banyak terutama peralatan proteksi
- B. Biaya pembangunan lebih mahal



Gambar 2.6. Sistem Jaringan Radial Paralel.

Untuk memperbaiki kekurangan dari sistem radial terbuka diatas maka dipakai konfigurasi sistem radial paralel, yang menyalurkan tenaga listrik melalui dua saluran yang diparalelkan. Pada sistem ini titik beban dilayani oleh dua saluran, sehingga bila salah satu saluran mengalami gangguan, maka saluran yang satu lagi dapat menggantikan melayani, dengan demikian pemadaman tak perlu terjadi. Kontinuitas pelayanan sistem radial paralel ini lebih terjamin dan kapasitas pelayanan bisa lebih besar dan sanggup melayani beban maksimum (*peak load*) dalam batas yang diinginkan. Kedua saluran dapat dikerjakan untuk melayani titik beban bersama-sama. Biasanya titik beban hanya dilayani oleh salah satu saluran saja. Hal ini dilakukan untuk menjaga kontinuitas pelayanan pada konsumen.

### C. Sistem Rangkaian Tertutup (Loop Circuit)



Gambar 2.7. Sistem Jaringan Tertutup

Keuntungan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

- 1) Dapat menyalurkan daya listrik melalui satu atau dua saluran feeder yang saling berhubungan
- 2) Menguntungkan dari segi ekonomis
- 3) Bila terjadi gangguan pada saluran maka saluran yang lain dapat menggantikan untuk menyalurkan daya listrik
- 4) Konstinuitas penyaluran daya listrik lebih terjamin
- 5) Bila digunakan dua sumber pembangkit, kapasitas tegangan lebih baik dan regulasi tegangan cenderung kecil
- 6) Dalam kondisi normal beroperasi, pemutus beban dalam keadaan terbuka
- 7) Biaya konstruksi lebih murah
- 8) Faktor penggunaan konduktor lebih rendah, yaitu 50 %
- 9) Keandalan relatif lebih baik

Kelemahan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

- 1) Keterandalan sistem ini lebih rendah
- 2) Drop tegangan makin besar
- 3) Bila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan akan lebih jelek



Sistem rangkaian tertutup pada jaringan distribusi merupakan suatu sistem penyaluran melalui dua atau lebih saluran feeder yang saling berhubungan membentuk rangkaian berbentuk cincin.

Sistem ini secara ekonomis menguntungkan, karena gangguan pada jaringan terbatas hanya pada saluran yang terganggu saja. Sedangkan pada saluran yang lain masih dapat menyalurkan tenaga listrik dari sumber lain dalam rangkaian yang tidak terganggu. Sehingga kontinuitas pelayanan sumber tenaga listrik dapat terjamin dengan baik.

Yang perlu diperhatikan pada sistem ini apabila beban yang dilayani bertambah, maka kapasitas pelayanan untuk sistem rangkaian tertutup ini kondisinya akan lebih jelek. Tetapi jika digunakan titik sumber (Pembangkit Tenaga Listrik) lebih dari satu di dalam sistem jaringan ini maka sistem ini akan banyak dipakai, dan akan menghasilkan kualitas tegangan lebih baik, serta regulasi tegangannya cenderung kecil.

#### **A. Sistem Network/Mesh**

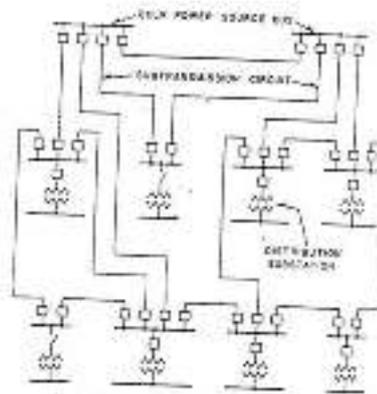
Sistem network/mesh ini merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan secara terus-menerus oleh dua atau lebih feeder pada gardu-gardu induk dari beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang bekerja secara paralel. Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu dan merupakan sistem yang paling baik serta dapat diandalkan, mengingat sistem ini dilayani oleh dua atau lebih sumber tenaga listrik. Selain itu jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik feeder.

Keuntungan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

- 1) Penyaluran tenaga listrik dapat dilakukan secara terus-menerus (selama 24 jam) dengan menggunakan dua atau lebih feeder
- 2) Merupakan pengembangan dari sistem-sistem yang terdahulu
- 3) Tingkat keterandalannya lebih tinggi
- 4) Jumlah cabang lebih banyak dari jumlah titik feeder
- 5) Dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki tingkat kepadatan yang tinggi
- 6) Memiliki kapasitas dan kontinuitas pelayanan sangat baik
- 7) Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan

Kelemahan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

- 1) Biaya konstruksi dan pembangunan lebih tinggi
- 2) Setting alat proteksi lebih sukar



Gambar 2.8. Sistem Jaringan Network/mesh



Sistem ini dapat digunakan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi dan mempunyai kapasitas dan kontinuitas pelayanan yang sangat baik. Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu kontinuitas pelayanan. Sebab semua titik beban terhubung paralel dengan beberapa sumber tenaga listrik.

## **B. Sistem Interkoneksi**

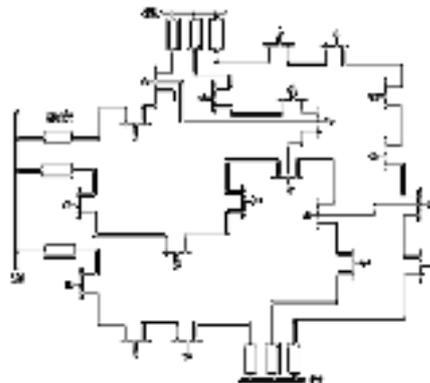
Keuntungan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

- 1) Merupakan pengembangan sistem network / mesh
- 2) Dapat menyalurkan tenaga listrik dari beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik
- 3) Penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus-menerus (tanpa putus), walaupun daerah kepadatan beban cukup tinggi dan luas
- 4) Memiliki keterandalan dan kualitas sistem yang tinggi
- 5) Apabila salah satu Pembangkit mengalami kerusakan, maka penyaluran tenaga listrik dapat dialihkan ke Pusat Pembangkit lainnya.
- 6) Bagi Pusat Pembangkit yang memiliki kapasitas lebih kecil, dapat dipergunakan sebagai cadangan atau pembantu bagi Pusat Pembangkit Utama (yang memiliki kapasitas tenaga listrik yang lebih besar)
- 7) Ongkos pembangkitan dapat diperkecil
- 8) Sistem ini dapat bekerja secara bergantian sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan
- 9) Dapat memperpanjang umur Pusat Pembangkit
- 10) Dapat menjaga kestabilan sistem Pembangkitan
- 11) Keterandalannya lebih baik
- 12) Dapat di capai penghematan-penghematan di dalam investasi

Kelemahan dari konfigurasi jaringan ini adalah :

- 1) Memerlukan biaya yang cukup mahal
- 2) Memerlukan perencanaan yang lebih matang

- 3) Saat terjadi gangguan hubung singkat pada penghantar jaringan, maka semua Pusat Pembangkit akan bergabung di dalam sistem dan akan ikut menyumbang arus hubung singkat ke tempat gangguan tersebut.
- 4) Jika terjadi unit-unit mesin pada Pusat Pembangkit terganggu, maka akan mengakibatkan jatuhnya sebagian atau seluruh sistem.
- 5) Perlu menjaga keseimbangan antara produksi dengan pemakaian
- 6) Merepotkan saat terjadi gangguan petir



Gambar 2.9. Sistem Jaringan Interkoneksi

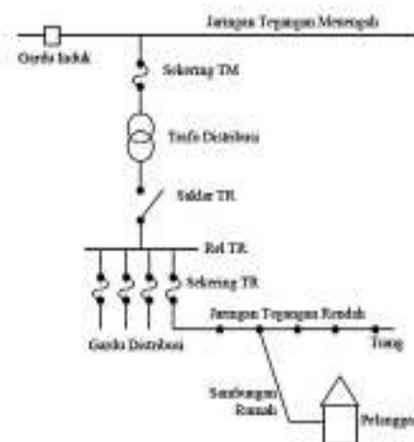
Sistem interkoneksi ini merupakan perkembangan dari sistem network/mesh. Sistem ini menyalurkan tenaga listrik dari beberapa Pusat Pembangkit Tenaga Listrik yang dikehendaki bekerja secara paralel. Sehingga penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus-menerus (tak terputus), walaupun daerah kepadatan beban cukup tinggi dan luas. Hanya saja sistem ini memerlukan biaya yang cukup mahal dan perencanaan yang cukup matang. Untuk perkembangan dikemudian hari, sistem interkoneksi ini sangat baik, bisa diandalkan dan merupakan sistem yang mempunyai kualitas yang cukup tinggi.

Pada sistem interkoneksi ini apabila salah satu Pusat Pembangkit Tenaga Listrik mengalami kerusakan, maka penyaluran tenaga listrik dapat dialihkan ke Pusat Pembangkit lain. Untuk Pusat Pembangkit

yang mempunyai kapasitas kecil dapat dipergunakan sebagai pembantu dari Pusat Pembangkit Utama (yang mempunyai kapasitas tenaga listrik yang besar). Apabila beban normal sehari-hari dapat diberikan oleh Pusat Pembangkit Tenaga listrik tersebut, sehingga ongkos pembangkitan dapat diperkecil. Pada sistem interkoneksi ini Pusat Pembangkit Tenaga Listrik bekerja bergantian secara teratur sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Sehingga tidak ada Pusat Pembangkit yang bekerja terus-menerus. Cara ini akan dapat memperpanjang umur Pusat Pembangkit dan dapat menjaga kestabilan sistem pembangkitan.

### 2.1.3 Jaringan Sistem Distribusi Sekunder<sup>1</sup>

Sistem distribusi sekunder seperti pada Gambar 2.10 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu transformator sampai pada pemakai akhir atau konsumen.



Gambar 2.10 Hubungan Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah dan Konsumen

<sup>1</sup> Ardiansyah, A. 2010. Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.



## 2.2 Manuver Jaringan Distribusi 20 KV

Manuver jaringan atau manipulasi jaringan merupakan serangkaian kegiatan pelimpahan tenaga listrik dengan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan atau pekerjaan pemeliharaan jaringan akibat adanya gangguan atau adanya pekerjaan jaringan sedemikian rupa sehingga tetap tercapai kondisi penyaluran yang maksimum atau dengan kata lain yang lebih sederhana adalah mengurangi daerah pemadaman. Kegiatan yang dilakukan saat manuver:

1. Menghubungkan bagian-bagian jaringan yang terpisah menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak.
2. Memisahkan jaringan menjadi bagian-bagian jaringan yang semula terhubung menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi saat melakukan manuver jaringan distribusi adalah :

1. Tegangan antara kedua penyulang yang akan dimanuver harus sama, maksimal beda tegangan 0,5 kV.
2. Penyulang yang menerima pelimpahan beban harus mampu menerima beban yang akan dilimpahkan.
3. Urutan ketiga fasa antara kedua penyulang yang akan dimanuver harus sama.
4. Peralatan manuver / switching harus dalam keadaan baik untuk beroperasi.
5. Frekuensi antara kedua penyulang yang akan dimanuver dalam keadaan sama.
6. Jaringan yang dimanuver harus dalam satu subsistem yang sama, apabila berbeda subsistem akan terjadi pemadaman sesaat.

7. Apabila kedua penyulang berasal dari transformator yang berbeda tegangannya maka harus dimintakan persamaan tegangan terlebih dahulu ke pihak APPD atau Area atas permintaan DCC.

Pelimpahan beban juga dapat diartikan sebagai kegiatan atau pekerjaan pengalihan beban baik sebagian maupun seluruh penyulang ke penyulang lain yang bersifat sementara dengan menutup (memasukkan) atau membuka (melepas) peralatan – peralatan penghubung / switching seperti, LBS, dan PMT.

### 2.2.1 Peralatan Switching TM<sup>7</sup>

Dalam Pelaksanaan manuver dibutuhkan peralatan switching yang digunakan untuk melepas dan memindahkan Sebagian atau seluruh beban dari penyulang satu ke penyulang lain. Peralatan switching ini dapat berupa lbs, recloser dan lain sebagainya.

1. Pemutus Tenaga (PMT)/Circuit Breaker (CB)

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan hubung singkat. Peralatan Pemutus Tenaga (PMT) ini sudah dilengkapi dengan rele proteksi arus lebih (Over Current Relay) dan dapat difungsikan sebagai alat pembatas beban.

2. Pemisah (PMS)/Disconekting Switch (DS)

Pemisah (PMS) Disconekting Switch (DS) adalah suatu saklar yang berfungsi untuk memisahkan atau menghubungkan suatu jaringan pada saat tidak berbeban (tidak dilalui arus). Pada umumnya alat ini akan difungsikan pada saat diadakan pemeliharaan rutin yang dilakukan oleh PLN.

3. Load Break Switch (LBS)

Saklar pemutus beban (Load Break Switch, LBS) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fasa untuk penempatan di luar ruas pada tiang pancang, yang dikendalikan secara manual maupun secara elektronis. load

---

<sup>7</sup> PT. PLN PERSERO. 2010. Buku 4 : Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik.

break switch (LBS) mirip dengan alat pemutus tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) dan biasanya dipasang dalam saluran distribusi listrik.

Load break switch (LBS) berfungsi sebagai peralatan hubung yang bekerja membuka dan menutup rangkaian arus listrik, mempunyai kemampuan memutus arus beban dan tidak mampu memutus arus gangguan. load break switch (LBS) juga berfungsi sebagai pemutusan lokal atau penghubung instalasi listrik 20 kV pada saat dilakukan perawatan jaringan distribusi pada daerah tertentu sehingga tidak mengganggu daerah lain yang masih beroperasi.



Gambar 2.11 *Load Break Switch (LBS)*

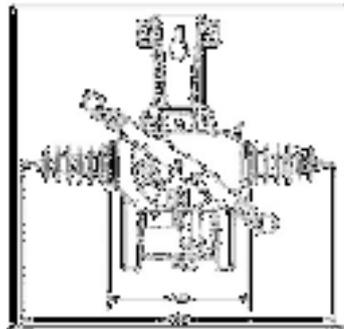


Gambar 2.12 Kubikel / Panel pengendali *Load break switch (LBS)*

Sistem pengendalian elektronik load break switch (LBS) ditempatkan pada sebuah kotak pengendali yang terbuat dari baja anti karat sehingga

dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan. Panel pengendali atau kubikel LBS merupakan alat yang mempermudah dalam proses pengoprasian load break switch (LBS), serta harus rutin pada pemeliharannya. Jenis Pengendalian load break switch (LBS)<sup>6</sup> ada 2 yaitu:

a. Secara manual



Gambar 2.13 Load Break Switch (LBS)

Pada umumnya jika pengontrolan jarak jauh tidak bisa berjalan dengan baik maka langkah selanjutnya adalah pemutusan dan penyambungan beban secara manual yaitu dengan cara menarik tuas dengan menggunakan *hook stick* yang terdapat pada gambar 2.13. Gambar 2.13 merupakan bagian peralatan utama LBS. Terdapat tulisan OFF dan ON, warna tulisan OFF merah, sedangkan ON berwarna hijau. Jika kita menarik tuas berlawanan arah jarum jam maka LBS akan mengalami kondisi OFF. Sebaliknya jika tuas ditarik searah jarum jam berarti LBS dalam kondisi ON. Pekerjaan ini dilakukan oleh petugas rayon maupun dari operasi distribusi, untuk peralatannya menggunakan *hook stick* dan juga peralatan K3 untuk keamanan petugas pelaksana

b. Secara terkontrol

---

<sup>6</sup> PT. PLN PERSERO. 2010. Buku 1 : Kriteria Desain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.



Monitoring dan pengendaliannya menggunakan sistem SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Sistem SCADA dipakai terutama untuk meningkatkan pelayanan kepada para pelanggan listrik dengan cara mengurangi lama waktu padam dan kemudahan dalam mendapatkan data-data operasional serta posisi/ kedudukan gawai-gawai kendali pada instalasi listrik. dengan peralatan modul pengontrol berupa RTU (Remote Terminal Unit). Basis komunikasi antara RTU pada panel LBS dan ruang kontrol PLN secara umum terdiri dari dua jenis, yaitu GPRS dan radio.

4. Saklar Seksi Otomatis (SSO) Sectionalizer

Saklar Seksi Otomatis (SSO) Sectionalizer adalah suatu saklar yang bekerja secara otomatis berdasarkan waktu dan perhitungan arus gangguan yang mengalir pada jaringan. Alat ini berfungsi sebagai pemisah (pembagi) jaringan distribusi. Dalam sistem pengoperasiannya alat ini dilengkapi dengan pendeteksi arus gangguan.

Jika jumlah hitungan arus gangguan yang mengalir telah sesuai dengan yang telah ditentukan, maka alat ini akan membuka secara otomatis. Alat ini dapat dioperasikan pada saat jaringan dalam keadaan berbeban.

5. Penutup Balik Otomatis (PBO) Recloser

Penutup balik otomatis (PBO) Recloser (Automatic circuit recloser) adalah suatu peralatan yang bekerja secara otomatis untuk dapat mengamankan sistem dari gangguan hubung singkat. Recloser terdiri dari bagian-bagian yang dapat merasakan arus lebih, mengatur kelambatan waktu, memutuskan arus gangguan serta menutup kembali secara otomatis guna mengisi kembali (reenergize) jaringan. Pada gangguan permanen recloser akan tetap terbuka (mengerjakan pemutusan menetap) dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian yang utama dari sistem. Recloser yang dilengkapi dengan fungsi buka dan tutup secara otomatis



sangat berguna untuk menghilangkan gangguan yang berkepanjangan pada sistem yang diakibatkan oleh keadaan gangguan temporer atau arus lebih yang tiba-tiba (transient over current). Bila recloser mendeteksi adanya arus gangguan di daerah pengamannya maka recloser akan memutuskan arus (membuka kontaktor), kemudian dengan waktu tunda yang ditentukan secara otomatis akan menutup kembali kontak. Jika masih dirasakan adanya gangguan maka recloser akan bekerja membuka dan menutup berturut-turut sampai 3 atau 4 kali langsung mengunci.

### 2.3 ETAP 19.0.1<sup>5</sup>

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat didalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Pada studi kali ini akan digunakan fitur load flow untuk mengetahui tegangan ujung dari sistem distribusi yang disimulasikan. Pada software ini dibutuhkan data penunjang seperti arus yang mengalir serta jenis dan panjang saluran yang digunakan. Dalam menganalisa tenaga listrik, dibutuhkan suatu diagram saluran tunggal (single line diagram) merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, bus bar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak

---

<sup>5</sup> Multa, Lestanto, dkk. 2013. Modul Pelatihan Etap



mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah, sebagai saklar atau peralatan lainnya diwakili.

### 2 3. 1. Load Flow Analysis

Percobaan load flow atau aliran daya ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi transmisi pada aliran daya dan juga mempelajari adanya tegangan jatuh di sisi beban.

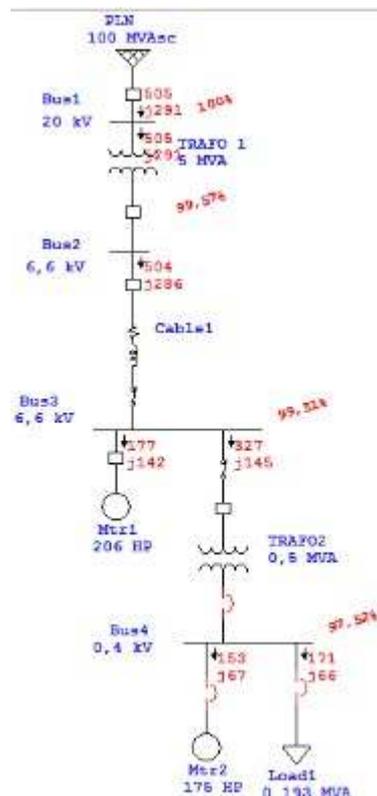
Aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik secara garis besar adalah suatu peristiwa daya yang mengalir berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran atau jaringan transmisi hingga sampai ke sisi beban (sisi penerima). Pada kondisi ideal, maka daya yang diberikan oleh sisi pengirim akan sama dengan daya yang diterima beban. Namun pada kondisi real, daya yang dikirim sisi pengirim tidak akan sama dengan yang diterima beban. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal:

6. Impedansi di saluran transmisi.

Impedansi di saluran transmisi dapat terjadi karena berbagai hal dan sudah mencakup resultan antara hambatan resistif, induktif dan kapasitif. Hal ini yang menyebabkan rugi-rugi daya karena terkonversi atau terbuang menjadi energi lain dalam transfer energi.

7. Tipe beban yang tersambung jalur

Ada 3 tipe beban, yaitu resistif, induktif, dan kapasitif. Resultan antara besaran hambatan kapasitif dan induktif akan mempengaruhi P.F. sehingga mempengaruhi perbandingan antara besarnya daya yang ditransfer dengan yang diterima.



Gambar 2.14 Contoh simulasi etap

Maka akan didapatkan hasil simulasi yang ditunjukkan dengan huruf berwarna merah seperti pada gambar di atas, terdapat nilai daya aktif dan daya reaktif ( $P + JQ$ ) serta prosentase tegangan. Kita dapat mengatur nilai apa yang akan ditampilkan pada simulasi bisa berupa arus, faktor daya, yaitu dengan cara merubah display option.

## 2.4 Parameter Saluran Distribusi

Seluruh saluran yang menggunakan penghantar dari suatu sistem tenaga listrik memiliki sifat-sifat listrik sebagai parameter saluran seperti resistansi, induktansi, kapasitansi dan konduktansi. Oleh karena saluran distribusi memiliki saluran yang tidak begitu jauh (kurang dari 80 km) dan menggunakan tegangan tidak lebih besar dari 69 kV maka kapasitansi dan konduktansi sangat kecil dan dapat diabaikan.

Resistansi yang timbul pada saluran dihasilkan dari jenis penghantar yang



memiliki tahanan jenis dan besar resistansi pada penghantar tergantung dari jenis material, luas penampang dan panjang saluran. Resistansi penghantar sangat penting dalam evaluasi efisiensi distribusi dan studi ekonomis.

Induktansi timbul dari efek medan magnet di sekitar penghantar jika pada penghantar terdapat arus yang mengalir. Parameter ini penting untuk pengembangan model saluran distribusi yang digunakan dalam analisis sistem tenaga.

#### 2.4.1 Resistansi Saluran <sup>12</sup>

Resistansi adalah tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang dapat menyebabkan kerugian daya. Nilai tahanan suatu penghantar dapat ditentukan dari persamaan :

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.1)$$

Dimana :

$\rho$  = resistivitas penghantar

$L$  = panjang kawat

$A$  = luas penampang

Kenaikan resistansi karena pembentukan lilitan diperkirakan mencapai 1% untuk penghantar dengan tiga serat dan 2% untuk penghantar dengan lilitan konsentris. Jika suhu dilukiskan pada sumbu tegak dan resistansi pada sumbu mendatar maka titik pertemuan perpanjangan garis dengan sumbu suhu dimana resistansinya sama dengan  $\rho$  adalah suatu konstanta untuk bahan logam bersangkutan, maka tahanan searahnya dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \quad (2.2)$$

---

<sup>12</sup> Willian D Stevenson, Analisis Sistem Tenaga Listrik. Edisi Keempat. 1994 Hal. 39



Dimana :

R1 = resistansi penghantar pada suhu  $t_1$  (temperatur sebelum operasi konduktor)

R2 = resistansi penghantar pada suhu  $t_2$  (temperatur operasi konduktor)

$t_1$  = temperatur awal (°C)

$t_2$  = temperatur akhir (°C)

T = konstanta yang ditentukan oleh grafik.

Nilai-nilai konstanta T adalah sebagai berikut:

T = 234,5 untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

T = 241 untuk tembaga dengan konduktivitas 97,3%

T = 228 untuk aluminium dengan konduktivitas 61%

#### 2.4.2 Induktansi Saluran

Untuk menentukan besarnya induktansi saluran pada jaringan distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3

$$L = \left\{ 0,5 + 4,6 \log_{10} \frac{D-r}{r} \right\} \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (2.3)^{15}$$

Dimana D adalah jarak antara konduktor dan r adalah radius masing-masing konduktor tersebut. Bila letak konduktor tidak simetris, maka D pada persamaan diatas perlu diganti dengan :

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \quad (2.4)$$

Induktansi dihitung dengan konsep Geometric Means Radius (GMR). Karakteristik penghantar dapat dicari dari buku penghantar atau literature pabrik pembuat yang menyediakan nilai induktansi dari suatu penghantar dalam satuan mH/km. Pabrik pembuat penghantar menyediakan karakteristik standard penghantar dengan ukuran penghantar. Untuk menghitung nilai luas penghantar menggunakan persamaan :

---

<sup>15</sup> Zuhail. Dasar Teknik Listrik dan Elektronika Daya. 1995. Hal 152



$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.5)$$

### 2.4.3 Reaktansi Saluran

Jika induktansi dalam satuan Henry dikalikan dengan  $2 \cdot \pi \cdot f$  ( frekuensi dalam satuan Hz ), maka hasilnya dikenal sebagai reaktansi induktif yang diukur dalam satuan ohm. Jadi besarnya nilai satuan reaktansi induktif saluran:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot l \quad (2.6)^2$$

Dimana :

$X_L$  = Reaktansi induktif saluran

$L$  = Induktansi saluran ( H)

$f$  = Frekuensi ( Hz)

### 2.4.4 Impedansi Saluran

Impedansi Saluran Impedansi suatu saluran distribusi dapat kita tentukan dengan persamaan dasar sebagai berikut :

$$Z_L = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot \theta \quad (2.7)^{11}$$

Dimana :

$Z_L$  = Impedansi Saluran

$R$  = Resistansi Saluran

$X_L$  = Reaktansi Induktif

### 2.4.5 Daya Listrik

Ada beberapa jenis daya listrik yang akan dibahas pada sub-bab ini, yaitu:

#### 1. Daya Semu

Daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran penghantar yang ada pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Dimana untuk daya semu ini dibentuk oleh besaran tegangan yang dikalikan

---

<sup>2</sup> B.I Theraja. Worked Examples in Electrical Technology, Techouse.1983. Hal 261

<sup>11</sup> T.S. Hutaaruk, Transmisi Daya Listrik, P.T Gelora Aksara Pratama, 1996, Hal.61



dengan besaran arus.

Untuk 1 phasa yaitu :

$$S = V \times I \quad (2.8)^8$$

Untuk 3 phasa yaitu :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.9)^{14}$$

Dimana :

$$S = \text{Daya semu (VA)}$$

$$V = \text{Tegangan yang ada (V)}$$

$$I = \text{Besaran arus yang mengalir (A)}$$

## 2. Daya Aktif

Daya aktif atau disebut juga dengan daya nyata adalah daya yang dipakai untuk menggerakkan berbagai macam peralatan mekanik. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari besaran tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Untuk 1 phasa :

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.10)$$

Untuk 3 phasa :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2.11)$$

Dimana :

$$P = \text{Daya aktif (watt)}$$

$$V = \text{Tegangan yang ada (V)}$$

$$I = \text{Besaran arus yang mengalir (A)}$$

$$\cos \varphi = \text{Faktor daya}$$

## 3. Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang hilang atau selisih daya semu yang masuk pada saluran dengan daya aktif yang terpakai pada daya

<sup>8</sup> Subir Pay, Electrical Power System, Prentice Hall of India Private Limited. 2007, Hal. 17

<sup>14</sup> Y.othari, D. P dan I. J. Nagrath, Power System Engineering. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2008, Hal. 158



mekanis dan daya panas.

Untuk 1 phasa :

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.12)$$

Untuk 3 phasa :

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \quad (2.13)$$

Dimana :

P = Daya aktif (watt)

V = Tegangan yang ada (V)

I = Besar arus yang mengalir (A)

$\sin \varphi$  = Faktor daya

#### 2.4.6 Drop Tegangan<sup>12</sup>

Panjang sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dapat didesain dengan mempertimbangkan drop tegangan (Voltage Drop). Drop tegangan adalah perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Jatuh tegangan selalu terjadi pada jaringan, baik pada pelanggan maupun pada perusahaan listrik. Jatuh tegangan pada saluran distribusi adalah selisih antara tegangan pada sisi kirim (sending end) dan tegangan pada sisi terima (receiving end).

Dengan semakin besar pula perbedaan nilai tegangan yang ada pada sisi kirim dengan yang ada pada sisi terima, Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. Di dalam saluran transmisi persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan sehingga harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan menengah harus diperhatikan. Berdasarkan dari standar SPLN No 1 tahun 1995, dimana variasi tegangan pelayanan sebagai akibat rugi tegangan adalah maksimal sebesar +5% dan minimal 10% pada sisi pelayanan. Besarnya rugi tegangan pada saluran transmisi tersebut,

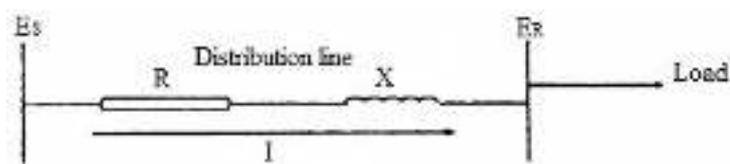
---

<sup>12</sup> William D. Stevenson, Jr. 1994. Analisa Sistem Tenaga Listrik. Hal 28

diukur pada titik yang paling jauh (ujung).

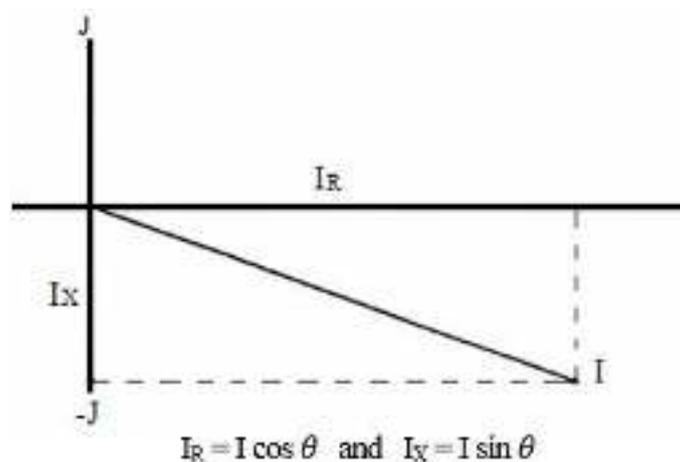
Jika karakteristik beban resistansi ( $R$ ) dan reaktansi ( $X$ ) dari saluran distribusi diketahui dan juga power factor ( $\cos \phi$ ) beban diketahui maka dapat langsung dihitung Voltage Drop-nya.

Pada Gambar 2.15 terlihat bahwa beban pada saluran distribusi merupakan beban  $R$  (resistif) dan  $X$  (reaktif). Contoh beban ini adalah motor yang bersifat reaktif yang mengakibatkan arus lagging terhadap tegangan.



Gambar 2.15 Voltage drop pada saluran distribusi.

Penurunan tegangan sama dengan  $E_S - E_R$ . Jika diproyeksikan pada sumbu axis  $E_R$  dapat dilihat pada gambar bahwa penurunan tegangan hampir sama dengan  $I R + I_X X$  dan komponen penurunan tegangan di luar fasa ( $-j I_X R$  dan  $j I_R X$ ) tidak mempengaruhi hasil totalnya. Untuk alasan ini, persamaan berikut ini berlaku untuk hampir seluruh penggunaan:



Gambar 2.16. Hubungan fasa dengan beban induktif.

Formula ini memberikan penurunan tegangan pada satu konduktor, line to netral. Satu fasa penurunan tegangan adalah 2 kali nilai persamaan di atas. Tiga



fasa line to line penurunan tegangan adalah  $\sqrt{3}$  kali dari nilai persamaan di atas. Dengan demikian persamaan untuk penurunan tegangan 3 fasa menjadi sebagai berikut:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times l \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (2.14)^4$$

Besar presentasi drop tegangan pada saluran transmisi dapat dihitung dengan :

$$\% \Delta V = \Delta V / V \times 100\% \quad (2.15)$$

Dimana :

$\Delta V$  = Drop tegangan (Volt)

$R$  = Resistansi saluran ( $\Omega$ )

$X$  = Reaktansi saluran ( $\Omega$ )

$I$  = Arus beban (A)

$l$  = Panjang hantaran tegangan menengah (km)

SPLN No 1 tahun 1995, dimana variasi tegangan pelayanan sebagai akibat rugi tegangan adalah maksimal sebesar +5% dan minimal 10% pada sisi pelayanan tegangan nominalnya. Salah satu penyebab adanya drop voltage sendiri adalah jauhnya sistem pentransmision tenaga listrik ke pelanggan khusus yang jauh dari pusat - pusat konsumsi tenaga listrik atau Gardu Induk (G). Jarak pentransmision bisa mencapai ratusan kms agar pelanggan dapat menikmati listrik walaupun menimbulkan drop tegangan ujung yang buruk. Titik drop tegangan yang buruk adalah titik dimana drop tegangannya dibawah standart PLN atau tegangan nya dibawah 18 kV dan tegangan yang baik berada pada range standart PLN antara 18 kV sampai dengan 21 kV yang dapat diukur tegangannya persection setiap penyulang.

---

<sup>4</sup> Hadisantoso, Feri. Analisa Penurunan Tegangan (Voltage Drop) dan Rugi-rugi (Losses) Penyulang Menggunakan ETAP di Gardu Induk Bandung Selatan