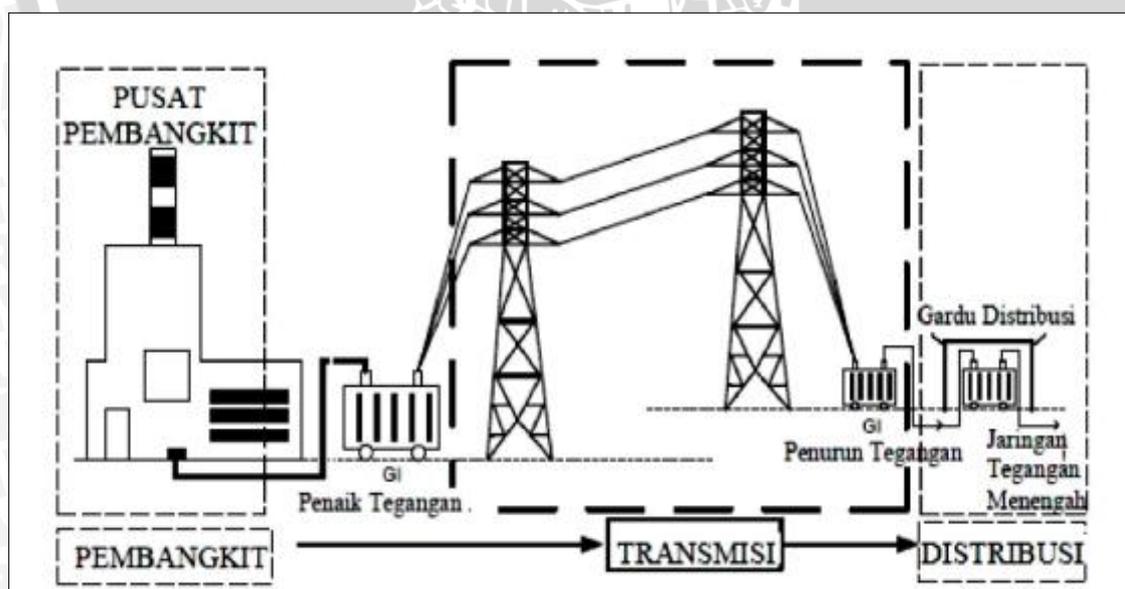


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pengembangan sumber-sumber energi untuk memperoleh kerja yang berguna adalah kunci dari kemajuan industri yang penting untuk peningkatan taraf hidup yang berkesinambungan bagi rakyat dimanapun mereka berada. Bagaimana menemukan sumber-sumber energi baru, mendapatkan sumber energi yang pada dasarnya tidak akan pernah habis untuk masa mendatang, menyediakan energi dimana saja diperlukan, dan mengubah energi dari satu ke lain bentuk serta mempergunakannya tanpa menimbulkan pencemaran yang akan merusak lingkungan hidup, adalah beberapa dari tantangan-tantangan terbesar yang dihadapi dunia pada masa kini. Sistem tenaga listrik adalah salah satu dari alat-alat untuk mengubah dan memindahkan energi yang mempunyai peranan penting dalam menghadapi tantangan-tantangan tersebut. (Stevenson, 1982;1)

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu dengan yang lain jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan satu kesatuan yang terinterkoneksi. Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama yaitu, pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. (Suhadi, 2008;1) Gambar 2.1 adalah konfigurasi sistem tenaga listrik yang terdiri dari pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi.



Gambar 2.1 Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik

(sumber : <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/29547/4/Chapter%20II.pdf>)

2.1.1 Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik terdiri dari satu atau lebih unit pembangkit yang mengkonversi energi mekanik menjadi listrik dengan memutar penggerak utama yang digabungkan dengan generator. Kebanyakan penggerak utama didorong oleh uap yang dihasilkan dalam *boiler* dengan bahan bakar batubara, minyak, gas alam, atau bahan bakar nuklir. Selain itu penggerak utama juga dapat digerakkan dengan sumber *nonthermal* seperti bendungan air dan kincir angin. (Brown, 2009;4)

2.1.2 Saluran Transmisi Tenaga Listrik

Saluran Transmisi berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban melalui saluran transmisi. Agar rugi-rugi energi listrik berkurang, maka energi listrik tersebut ditransmisikan dengan saluran transmisi tegangan tinggi (150 kV) maupun tegangan ekstra tinggi (500 kV). Untuk itu sebelum ditransmisikan, tegangan listrik terlebih dahulu dinaikkan pada trafo penaik tegangan (*step-up transformer*). Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa saluran bawah tanah.

2.1.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

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 sebagai penyalur tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan sebagai sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. (Suhadi, 2008;11)

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan 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 380/220Volt. 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. (Suhadi, 2008;11) Sistem distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi dua yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder.

2.2 Pembagian Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Jaringan distribusi 20kV sering disebut sistem distribusi tegangan menengah (primer) dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut jaringan tegangan rendah 380/220V.

2.2.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (primer)

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. (Suhadi, 2008;17) Pada pendistribusian tenaga listrik ke pengguna tenaga listrik di suatu kawasan, penggunaan sistem tegangan menengah sebagai jaringan utama adalah upaya utama menghindarkan rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipenuhi oleh PT PLN Persero selaku pemegang Kuasa Usaha Utama sebagaimana diatur dalam UU ketenagalistrikan No 30 tahun 2009.

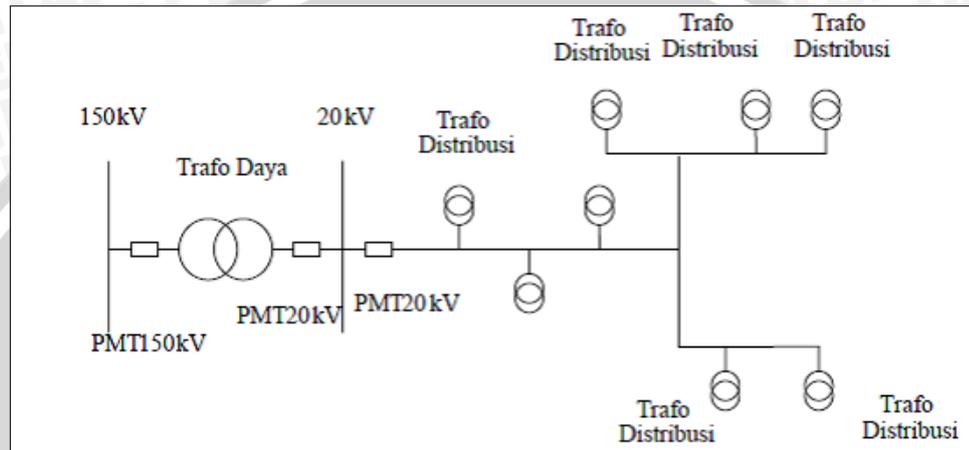
Jaringan distribusi Tegangan Menengah saluran udara dipakai umumnya untuk daerah dengan jangkauan luas, daerah padat beban rendah atau daerah-daerah penyangga antara kota dan desa. Biaya investasi Saluran Udara relatif murah, mudah dalam pembangunannya, mudah pada aspek pengoperasian, akan tetapi padat pemeliharaan. Tingkat kontinuitas rendah dengan konfigurasi sistem umumnya radial. 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. (Buku 1 PLN, 2010;2)

Klasifikasikan Jaringan distribusi primer menurut strukturnya antara lain jaringan tipe radial, jaringan tipe *loop*, jaringan spindel, dan jaringan-jaringan dengan tipe lainnya.

1) Jaringan tipe radial

Sistem distribusi dengan pola radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik

beban yang dilayani. Jika terjadi gangguan pada jaringan radial maka akan terjadi *black-out* atau pemadaman pada seluruh jaringan. Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya diperlengkapi dengan peralatan pengaman berupa fuse, sectionaliser, recloser, atau alat pemutus beban lainnya, tetapi fungsinya hanya membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah/dibelakang titik gangguan, selama gangguan belum teratasi. (Suhadi, 2008;17) Pada gambar 2.2 berikut adalah konfigurasi jaringan radial.



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Radial

(Sumber:<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/29547/4/Chapter%20II.pdf>)

2) Jaringan tipe *loop*

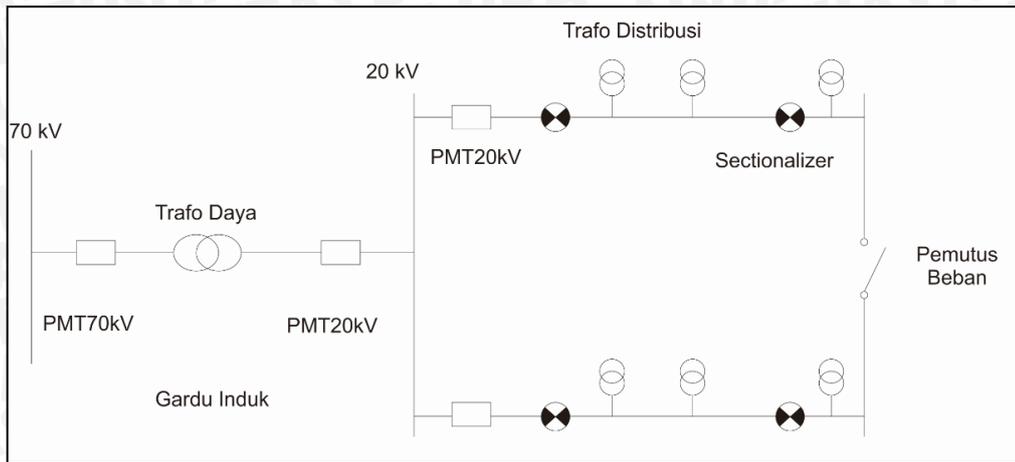
Bila pada titik beban terdapat dua alternatif saluran yang berasal lebih dari satu sumber maka akan terbentuk jaringan yang tertutup, disebut juga bentuk jaringan *loop*. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.3, susunan rangkaian penyulang membentuk *ring*, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. (Suhadi, 2008;20) Bentuk *loop* ada dua macam, yaitu :

1. Bentuk *open loop*

Apabila dilengkapi dengan *normally-open switch*, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

2. Bentuk *close loop*

Apabila dilengkapi dengan *normally-close switch*, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

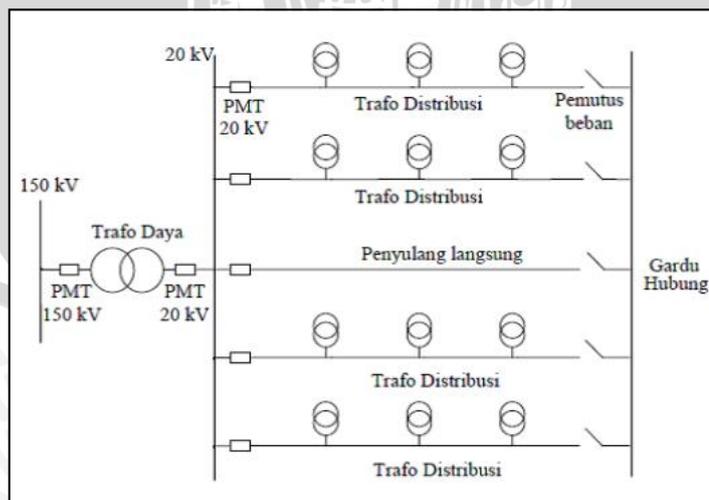


Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Tipe Loop

(<http://electricdot.wordpress.com/2011/08/16/tipe-tipe-jaringan-distribusi-tegangan-menengah/>)

3) Jaringan tipe spindel

Selain bentuk-bentuk dasar dari jaringan distribusi yang telah ada, maka dikembangkan pula bentuk-bentuk modifikasi, yang bertujuan meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Salah satu bentuk modifikasi yang populer adalah bentuk *spindle*, yang biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Saluran 6 penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan *working feeder* atau saluran kerja, dan satu saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan *express feeder*. Fungsi *express feeder* dalam hal ini sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu *working feeder*. Dalam keadaan normal *express feeder* ini dioperasikan tanpa beban. (Suhadi, 2008;24) Bentuk jaringan tipe spindel dapat dilihat pada gambar 2.4.

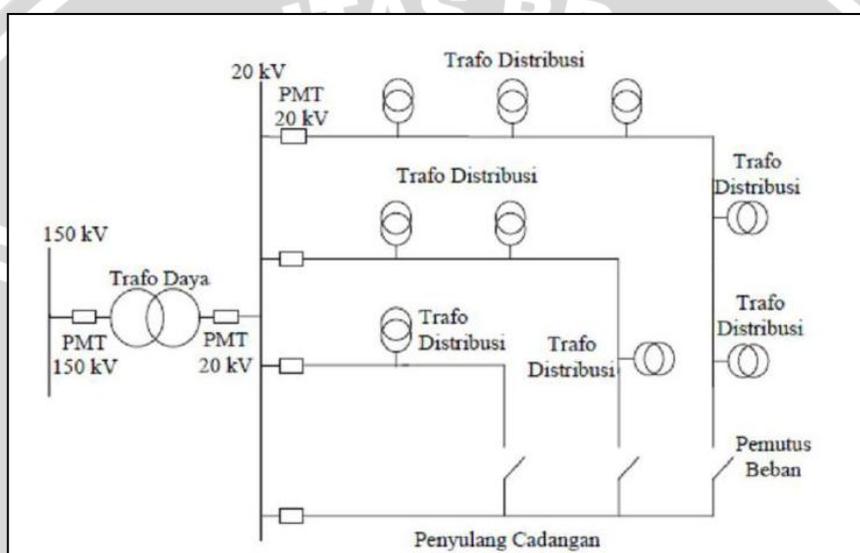


Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Tipe Spindel

(Sumber : <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/29547/4/Chapter%20II.pdf>)

4) Jaringan tipe gugus

Seperti yang tampak pada gambar 2.5 dibawah ini, jaringan distribusi dengan tipe gugus adalah perkembangan dari jaringan primer sistem spindel karena pada jaringan ini memiliki jaringan cadangan. Perbedaan antara jaringan spindel dan gugus adalah pada jaringan dengan tipe gugus tidak menggunakan gardu hubung. Jaringan dengan tipe seperti ini banyak digunakan di kota-kota besar yang memiliki kerapatan beban yang tinggi. Dalam jaringan tipe ini terdapat saklar yang menghubungkan trafo distribusi dengan penyulang cadangan yang mana saklar ini akan menutup ketika terjadi gangguan pada jaringan distribusi ini.



Gambar 2.5 Jaringan Tipe Gugus

(Sumber : <https://electricdot.wordpress.com/2011/08/16/tipe-tipe-jaringan-distribusi-tegangan-menengah/>)

2.2.2 Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (sekunder)

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan. Peralatan yang digunakan antara lain papan pembagi pada trafo distribusi, saluran distribusi sekunder, Saluran Layanan Pelanggan (SLP), dan alat pembatas dan pengukur daya (kWH. meter) serta fuse atau pemangaman pada pelanggan. (Suhadi, 2008;26)

2.3 Sistem Proteksi Jaringan Distribusi

Suatu sistem distribusi dapat berfungsi dengan baik apabila gangguan-gangguan yang terjadi pada setiap bagian dapat terdeteksi dan dipisahkan dari sistem yang lainnya dalam waktu yang secepatnya. Tujuan utama dari proteksi sistem distribusi adalah meminimalkan durasi atau lama gangguan dan meminimalkan jumlah pelanggan yang terpengaruh akibat gangguan (gonen, 1986;500). Adapun fungsi sistem pengaman adalah :

1. Melokalisir gangguan untuk membebaskan peralatan dan gangguan.
2. Membebaskan bagian yang tidak bekerja normal, untuk mencegah kerusakan.
3. Memberi petunjuk atau indikasi atas lokasi serta macam dari kegagalan.
4. Memberikan pelayanan listrik dengan keandalan tinggi kepada konsumen.
5. Mengamankan keselamatan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan listrik.

Peralatan pengaman pada jaringan distribusi 20kV antara lain PMT, rele proteksi (OCR dan DGR), penutup balik otomatis (*recloser*), saklar seksi otomatis (*sectionalizer*), dan *fuse*.

2.3.1 Pemutus Tenaga/PMT (*Circuit Breaker*)

Circuit Breaker atau yang sering disebut dengan pemutus tenaga dapat dioperasikan secara otomatis maupun secara manual dengan waktu pemutusan atau penyambungan yang sama. Oleh karena itu CB dapat dioperasikan untuk memutus maupun menghubungkan rangkaian dalam keadaan dilalui arus beban atau tidak. Ketika terjadi gangguan, CB merupakan saklar otomatis yang dapat memisahkan arus gangguan, dimana untuk mengoperasikan CB dalam keadaan gangguan umumnya digunakan suatu rangkaian trip yang mendapat sinyal dari suatu rangkaian rele pengaman. Fungsi rangkaian rele adalah mengamankan sistem terhadap gangguan yang berbeda-beda macamnya dan untuk ini diperlukan koordinasi tersendiri. CB juga harus bisa memadamkan busur api yang terjadi pada kontak-kontaknya.

2.3.2 Rele Proteksi

Suatu *Circuit Breaker* (CB) dapat melakukan trip atau pemutusan rangkaian dengan bantuan rele proteksi eksternal. Rele berfungsi sebagai otak yang mengendalikan mekanisme pembukaan kontak CB sehingga CB dapat melakukan koordinasi dengan peralatan proteksi yang lain di sisi hilir saluran. Rele juga dapat melakukan menutup kembali (*reclosing*). Pada sistem distribusi 20kV, rele yang sering digunakan adalah OCR (*over current relay*) dan DGR (*directional ground relay*). OCR

atau rele arus lebih berfungsi untuk mendeteksi gangguan antar fasa sedangkan DGR berfungsi untuk mendeteksi gangguan fasa ke tanah.

2.3.3 Penutup Balik Otomatis (*Recloser*)

Recloser atau penutup balik (PBO) pada dasarnya adalah pemutus tenaga (*circuit breaker*) yang dilengkapi dengan peralatan control (*Control Device*). Peralatan ini dapat merasakan arus gangguan dan memerintahkan operasi buka tutup kepada pemutus tenaga (*Circuit Breaker*). *Recloser* merupakan pengaman arus lebih yang dapat melakukan pemutusan rangkaian secara otomatis dan menutup kembali rangkaian selama beberapa kali untuk menghilangkan gangguan temporer dan mengisolasi gangguan permanen (Gonen 1986;511). Pada umumnya *recloser* dirancang dengan tiga kali mekanisme buka-tutup dan setelah itu akan mengunci (*locked*) pada posisi buka (*open*). Berikut ini adalah urutan operasi PBO ketika mengalami gangguan: (Suhadi, 2008;351)

1. Pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui PBO sangat besar sehingga menyebabkan kontak PBO terbuka (*trip*) dalam operasi cepat (*fast trip*)
2. Kontak PBO akan menutup kembali setelah melewati waktu reclose sesuai setting. Tujuan memberi selang waktu ini adalah untuk memberikan waktu pada penyebab gangguan agar hilang, terutama gangguan yang bersifat temporer
3. Jika gangguan bersifat permanen, PBO akan membuka dan menutup balik sesuai dengan settingnya dan akan lock-out (terkunci)
4. Setelah gangguan dihilangkan oleh petugas, baru PBO dapat dimasukkan ke sistem.

2.3.4 *Sectionalizer*

Sectionalizer adalah peralatan yang mengisolasi secara otomatis bagian yang mengalami gangguan setelah pemutus tenaga atau recloser membuka karena arus gangguan (Gers & Holmes, 2004;113). *Sectionalizer* digunakan untuk mengurangi luas daerah yang padam karena gangguan. *Sectionalizer* tidak memiliki kapasitas pemutus arus gangguan sehingga harus dipasang atau berkoordinasi dengan alat proteksi lain yang memiliki kapasitas pemutusan arus gangguan, sehingga *sectionalizer* harus dipasang disisi hilir dari *recloser*. Apabila tidak ada PBO atau *recloser* maka *sectionalizer* tidak dapat berfungsi secara otomatis atau menjadi saklar biasa. (Suhadi, 2008;351)

Sectionalizer yang sering digunakan di sistem distribusi oleh PT PLN adalah *sectionalizer* tipe AVS (*automatic vacuum switch*) yang menggunakan media isolasi hampa udara pada kontak-kontaknya dan *sectionalizer* tipe PGS (*pole gas switch*) yang menggunakan media isolasi gas. Selain kedua *sectionalizer* tersebut juga ada LBS (*load break switch*) yang menggunakan media isolasi udara dan dalam pengoperasiannya masih secara manual oleh petugas di lapangan.

2.3.5 Pengaman Lebur (*Fuse Cut Out*)

Pengaman lebur (FCO) merupakan pengaman bagian dari saluran dan peralatan dari gangguan hubung singkat antar fasa, dapat pula sebagai pengaman hubung singkat fasa ke tanah bagi sistem yang ditanahkan langsung. (Suhadi, 2008;349) *Fuse* akan rusak jika dilalui oleh arus tertentu ketika terjadi gangguan maupun arus beban lebih. Pada jaringan distribusi tegangan menengah, fuse yang digunakan biasanya adalah *fuse cut-out* yang digunakan sebagai pengaman pada transformator distribusi maupun pada cabang penyulang.

2.4 Transformator

Transformator adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. (Sumanto, 1996;1) Transformator disebut peralatan statis karena tidak memiliki bagian yang bergerak atau berputar. Perubahan tegangan dilakukan dengan memanfaatkan prinsip induktansi elektromagnetik pada lilitan. Pada aplikasinya transformator distribusi ditempatkan pada gardu-gardu distribusi dan digunakan sebagai penurun tegangan, yaitu mengubah tegangan 20kV menjadi 220/380V. Bagian-Bagian Dari Transformator antara lain inti besi transformator, kumparan primer, kumparan sekunder, minyak transformator, bushing, tangki, dan konservator.

2.5 Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.5.1 Definisi Dan Teori Dasar Keandalan

Secara umum keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas atau kemungkinan suatu alat atau komponen atau sistem dapat melakukan fungsinya dengan baik untuk periode waktu tertentu dan pada kondisi tertentu. (Dhillon, 2006). 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 (Buku 1 PLN, 2010;8). Ukuran keandalan dapat dinyatakan sebagai seberapa sering sistem mengalami pemadaman, berapa lama

pemadaman terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemadaman yang terjadi (*restoration*).

Ada tiga parameter dasar keandalan yang sering digunakan yaitu laju kegagalan /*failure rate* (λ), waktu pemulihan rata-rata (r), dan rata-rata durasi gangguan tahunan (U) seperti yang tampak pada persamaan berikut: (Billinton, 1984;222)

$$U = \lambda \times r \quad (2.1)$$

dengan :

λ = Laju kegagalan (dalam satuan gangguan per tahun)

r = Waktu pemulihan rata-rata (dalam satuan jam per gangguan)

U = Rata-rata durasi gangguan tahunan (dalam satuan jam per tahun.)

2.5.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Indeks Keandalan

Beberapa definisi ini diberikan untuk memahami faktor-faktor keandalan yang mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi, yaitu :

1. Panjang saluran

Semakin panjang saluran distribusi maka akan lebih rentan terhadap terjadinya gangguan. Oleh karena itu semakin panjang saluran maka semakin tidak andal sistem tersebut. Panjang saluran sangat berpengaruh pada indeks keandalan SAIFI

2. Kerapatan beban

Daerah dengan kerapatan beban yang tinggi akan cenderung memiliki keandalan yang lebih baik dibandingkan dengan kerapatan beban yang rendah

3. Konfigurasi jaringan

Konfigurasi jaringan memiliki pengaruh yang besar terhadap keandalan sistem.

Jaringan tipe radial murni memiliki tingkat keandalan yang rendah

2.5.3 Indeks Keandalan

Indeks keandalan adalah suatu besaran untuk membandingkan penampilan sistem distribusi. Dua indeks keandalan yang paling sering digunakan dalam sistem distribusi adalah indeks frekuensi pemadaman rata-rata (f) dan indeks lama pemadaman rata-rata (t) (SPLN 59 , 1985).

Indeks keandalan merupakan sebuah metode pengevaluasian parameter keandalan suatu peralatan distribusi energi listrik terhadap keandalan mutu pelayanan kepada konsumen. Indeks keandalan ini antara lain SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), dan CAIDI

(*Customer Average Interruption Duration Index*). Selain ketiga indeks tersebut, masih ada indeks-indeks keandalan lain yaitu ASAI, ASUI, ENS, dan AENS.

2.5.3.1 SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI adalah indeks frekuensi gangguan sistem rata-rata tiap tahun. Indeks ini menginformasikan tentang frekuensi gangguan permanen rata-rata tiap konsumen dalam suatu area yang dievaluasi. Berikut ini adalah persamaan untuk mencari SAIFI. (Billinton, 1984;223)

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah total konsumen terganggu}}{\text{jumlah total konsumen yang terlayani}} = \frac{\sum N_i \times \lambda_i}{N} \quad (2.2)$$

dengan :

N_i = jumlah pelanggan pada titik beban i

λ_i = *failure rate* pada titik beban i .

2.5.3.2 SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI adalah indeks durasi gangguan sistem rata-rata tiap tahun. Indeks ini menginformasikan tentang durasi gangguan permanen rata-rata tiap konsumen dalam suatu area yang dievaluasi. Berikut ini adalah persamaan untuk mencari SAIDI. (Billinton, 1984;224)

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah total durasi gangguan konsumen}}{\text{jumlah total konsumen yang terlayani}} = \frac{\sum N_i \times U_i}{N} \quad (2.3)$$

dengan :

N_i = jumlah pelanggan pada titik beban i

U_i = durasi gangguan pada titik beban i .

2.5.3.3 CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

CAIDI adalah indeks durasi gangguan sistem rata-rata tiap tahun. Indeks ini menginformasikan tentang waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap konsumen dalam satu tahun. Berikut ini adalah persamaan untuk mencari CAIDI. (Billinton, 1984;224)

$$CAIDI = \frac{\text{Jumlah total waktu durasi gangguan pada konsumen}}{\text{jumlah total konsumen yang terganggu}} = \frac{\sum N_i \times U_i}{\sum N_i \times \lambda_i} \quad (2.4)$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (2.5)$$

dengan :

N_i = jumlah pelanggan pada titik beban i

U_i = durasi gangguan pada titik beban i

λ_i = *failure rate* pada titik beban i .

2.5.4 Standarisasi Tingkat Keandalan

2.5.4.1 Berdasarkan SPLN

Dalam menghitung indeks keandalan suatu sistem harus memiliki acuan indeks kegagalan suatu peralatan distribusi. Berikut adalah tabel 2.1 data indeks kegagalan peralatan distribusi sesuai dengan SPLN no 59 Tahun 1985 :

Tabel 2.1 Data Indeks Kegagalan Peralatan Distribusi SPLN 59 : 1985

Komponen	Angka keluar	Waktu pemadaman	Waktu pemindahan
Saluran Udara	0,200/km/tahun	3,66	0,15
Kabel Saluran Bawah Tanah	0,070/km/tahun	15,50	5,00
Pemutus Tenaga	0,040/unit/tahun	10,75	0,15
Saklar Pemisah	0,003/ unit /tahun	10,66	0,15
Saklar Beban	0,003/ unit /tahun	10,66	0,15
Penutup balik	0,005/ unit /tahun	10,66	0,15
Penyambung Kabel	0,001/ unit /tahun	15,66	0,15
Trafo Distribusi	0,005/ unit /tahun	10,00	0,15
Pelindung jaringan	0,005/ unit /tahun	10,00	0,15

Sumber : SPLN 59 Tahun 1985

Data tabel diatas diperoleh dari SPLN No. 59 tahun 1985 tentang keandalan sistem distribusi 20kV dan 6kV. Tabel diatas berlaku untuk seluruh wilayah Indonesia. Angka keluar yang dimaksud pada tabel tersebut adalah frekuensi kegagalan atau *failure rate* yang merupakan frekuensi gangguan suatu saluran ataupun peralatan yang mengalami kegagalan tiap unit maupun tiap kilomernya dalam jangka waktu satu tahun. Waktu pemadaman adalah durasi terjadinya kegagalan pada saluran maupun tiap peralatan sampai peralatan tersebut dapat beroperasi kembali. Dalam hal ini peralatan tersebut diasumsikan untuk diganti. Sedangkan waktu pemindahan adalah durasi yang diperlukan operator untuk menemukan gangguan dan mengisolir gangguan. Untuk waktu pemadaman dan waktu pemindahan satuan yang digunakan adalah jam.

Berdasarkan SPLN 68-2 : 1986 standar untuk nilai indeks SAIFI adalah 12 kali/tahun dan untuk SAIDI adalah 63,8 jam/tahun. Sedangkan target PLN berdasarkan

World Class Service untuk nilai SAIFI adalah 3,77 kali/tahun dan SAIDI adalah 200 menit/tahun atau sama dengan 3,33 jam/tahun.

2.5.4.2 Berdasarkan ANSI/IEEE std 439-1980

Berikut adalah tabel 2.2 data indeks kegagalan peralatan distribusi sesuai dengan ANSI/IEEE std 439-1980:

Tabel 2.2 Data Indeks Kegagalan Peralatan Pada Jaringan Distribusi Saluran Udara
ANSI/IEE std 439-1980

Description	Failure rate	Repaire Time
Overhead Lines		
Primary Trunk	0.100	4.0
Lateral Tap	0.160	4.0
Secondary & Service Drop	0.088	2.5
Pole Mounted Transformer	0.010	5.0
Disconnect switch	0.014	4.0
Fuse Cutout	0.009	2.0
Line Recloser	0.015	4.0
Shunt Capacitor	0.020	1.5
Voltage Regulator	0.029	4.0

Sumber : Electric Power Distribution Reliability, Richard E Brown.

Yang dimaksud dengan *failre rate* dalam tabel tersebut adalah frekuensi kegagalan dari setiap komponen yang ada pada jaringan distribusi. Frekuensi kegagalan tersebut memiliki satuan unit per tahun, sedangkan untuk *Overhead Lines* menggunakan satuan mil per tahun. Yang dimaksud dengan *repaire time* dalam tabel tersebut adalah adalah waktu pemadaman adalah durasi terjadinya kegagalan pada saluran maupun tiap peralatan sampai peralatan tersebut dapat beroperasi kembali. Untuk waktu pemindahan setiap peralatan pada standar ANSI/IEEE std 439-1980 adalah 0,15 jam. Berdasarkan IEEE std.1366-2000, nilai standar untuk SAIFI adalah 1,45 kali/tahun dan untuk SAIDI adalah 2,3 jam/tahun.

2.6 Metode Section Technique

Metode *section technique* adalah sebuah metode yang merupakan pengembangan dari konsep FMEA (*Failure mode and effect analysis*). Meskipun metode yang digunakan hampir mirip dengan konsep FMEA, namun terdapat pembagian suatu topologi jaringan menjadi beberapa *section* yang mengurangi proses kalkulasi yang

rumit pada FMEA. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan-kemungkinan terjadinya malfungsi atau mode kegagalan, menganalisis penyebab-penyebab, serta efek-efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut. Suatu bentuk identifikasi yang jelas tentang cara kegagalan yang akan membimbing langsung ke arah penyelesaian keseluruhan sistem keandalan.

Analisis evaluasi dengan menggunakan metode *section technique* dapat digunakan pada beberapa hal meliputi keandalan suatu jaringan sistem distribusi. Metode ini secara fungsional mengasumsikan sebuah kegagalan, lalu mengidentifikasi kegagalan tersebut, dan menganalisis bagaimana efek kegagalan tersebut. Suatu sistem pendekatan yang biasanya melibatkan melibatkan analisis *bottom-up* dimana suatu analisis mode kegagalan spesifik dari sub sistem, dilihat pengaruhnya terhadap keseluruhan sistem. Dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui area mana pada jaringan yang perlu diperbaiki keandalannya. Baik melalui jaringan maupun otomatisasi sistem.

Section technique merupakan suatu metode terstruktur untuk menganalisis suatu sistem. Metode ini dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana suatu kegagalan dari peralatan mempengaruhi operasi sistem. Efek atau konsekuensi dan gangguan individual secara sistematis diidentifikasi dengan menganalisis apa yang terjadi jika gangguan terjadi. Kemudian masing-masing kegagalan peralatan dianalisis dari semua titik beban.

Syarat-syarat dari metode *section technique*:

- a. Topologi/konfigurasi penyulang sistem jaringan 20kV. Sistem didefinisikan dalam *section-section*, peralatan distribusi, dan titik beban (*load point*)
- b. Data pelanggan yang meliputi jumlah pelanggan pada setiap titik beban.
- c. Data gangguan atau pemadaman tahunan
- d. Parameter data keandalan sistem

Dalam metode *section technique* diasumsikan kegagalan peralatan tidak saling berhubungan, peralatan masing-masing dapat dianalisis secara terpisah. Jika kegagalan peralatan saling dihubungkan maka perhitungan keandalan sistem menjadi lebih kompleks. maka untuk menyederhanakan perhitungan tersebut dengan mengasumsikan bahwa setiap kegagalan tidak saling berhubungan.