

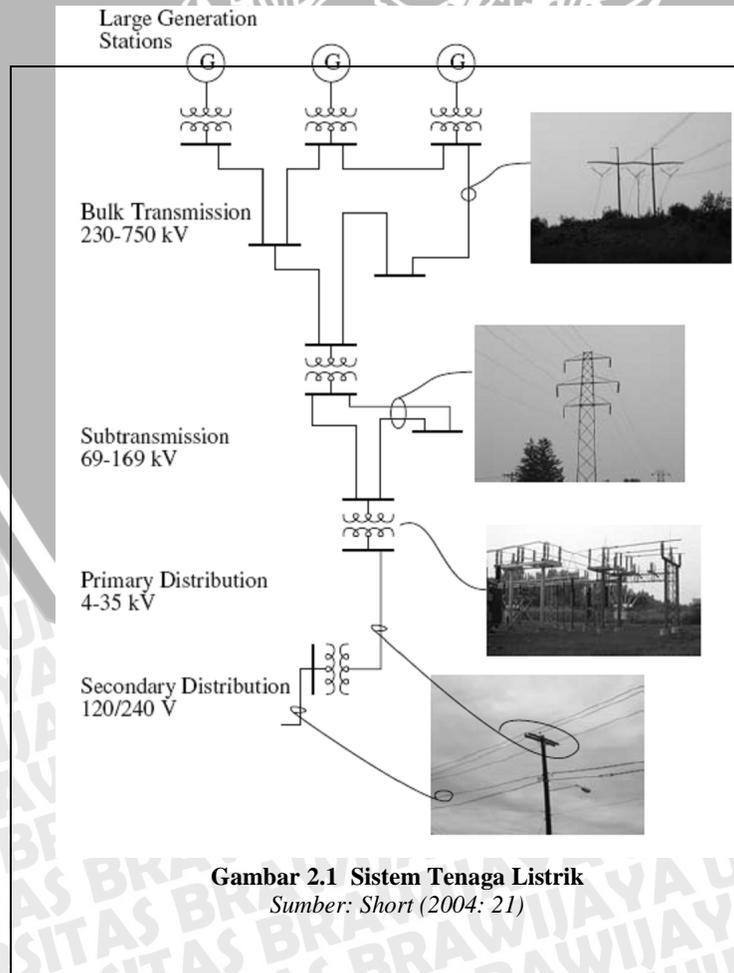
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya sistem tenaga listrik terdiri atas kumpulan peralatan listrik atau mesin listrik seperti generator, transformator, beban, dan berikut alat-alat pengamanan/proteksi dan pengaturan yang saling berhubungan membentuk suatu sistem yang digunakan untuk membangkitkan, menyalurkan, dan menggunakan energi seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Secara garis besar sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga subsistem yaitu:

1. Sistem Pembangkitan: berfungsi sebagai sumber daya tenaga listrik yang mengubah suatu bentuk energi tertentu menjadi energi listrik
2. Sistem Transmisi atau Penyaluran: berfungsi sebagai penyalur daya listrik dari pembangkit tenaga listrik ke gardu induk distribusi distribusi.
3. Sistem Distribusi: berfungsi sebagai penyalur / distributor energi listrik dari gardu induk ke pelanggan / konsumen yang memerlukan energi tersebut.



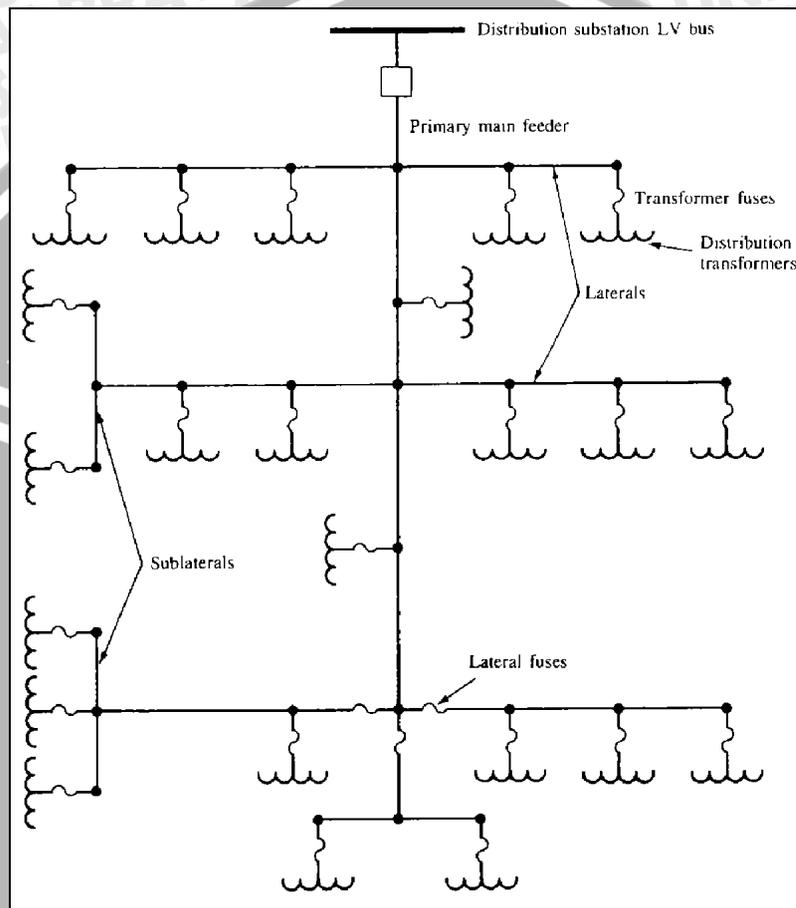
Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik
Sumber: Short (2004: 21)

2.2 Struktur Jaringan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Ada beberapa bentuk/tipe jaringan distribusi primer yang umum digunakan untuk mendistribusikan tenaga listrik, yaitu: tipe radial, tipe *loop*, dan tipe *grid/mesh*.

2.2.1 Tipe Radial

Salah satu bentuk paling sederhana dan paling umum dari saluran distribusi primer (penyulang) adalah tipe radial, yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Tipe Jaringan Radial

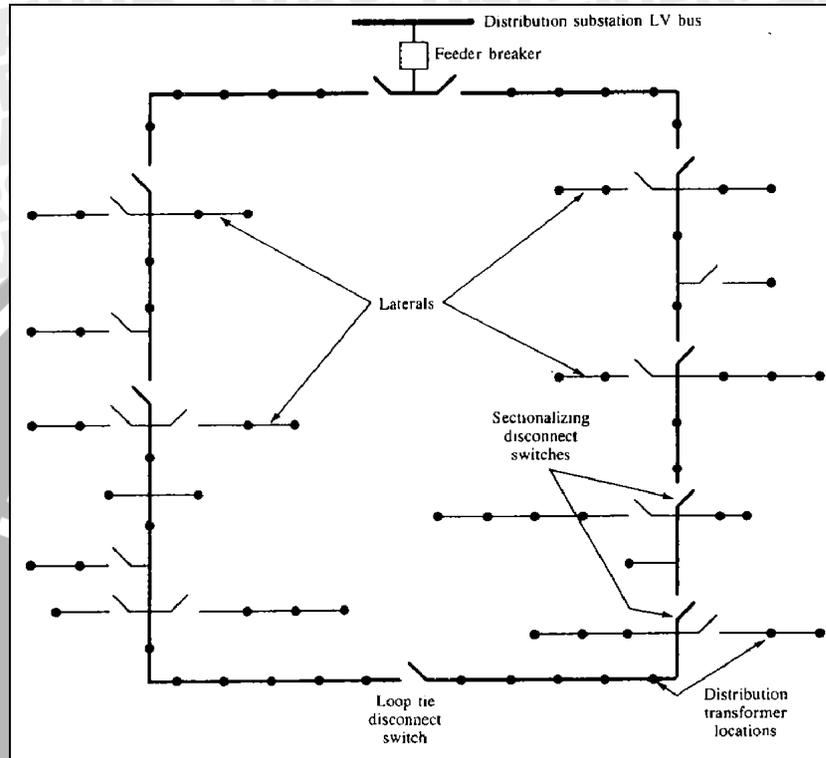
Sumber: Gonen, 1986: 227

Penyulang utama (*main feeder*) bercabang menjadi beberapa cabang (*lateral*) yang kemudian menjadi beberapa subcabang (*sublateral*) untuk mensuplai trafo distribusi. Nilai arus terbesar terdapat pada konduktor yang meninggalkan gardu induk (sisi hulu). Kemudian nilai arus semakin kecil pada cabang dan subcabang karena itu ukuran penampang konduktor biasanya juga semakin kecil.

Penyulang tipe radial memiliki tingkat keandalan yang rendah. Gangguan pada sembarang lokasi pada penyulang tipe radial mengakibatkan pemadaman pada seluruh pelanggan/konsumen kecuali jika gangguan dapat dilokalisir oleh *fuse*, *sectionalizer*, *disconnect switch*, atau *recloser*.

2.2.2 Tipe Loop

Sistem ini disebut jaringan distribusi loop karena saluran primer yang menyalurkan daya sepanjang daerah beban yang dilayani, membentuk suatu rangkaian lingkaran tertutup/ *loop*. Gambar 2.3 menunjukkan jaringan distribusi tipe *loop*.



Gambar 2.3 Tipe Jaringan Loop

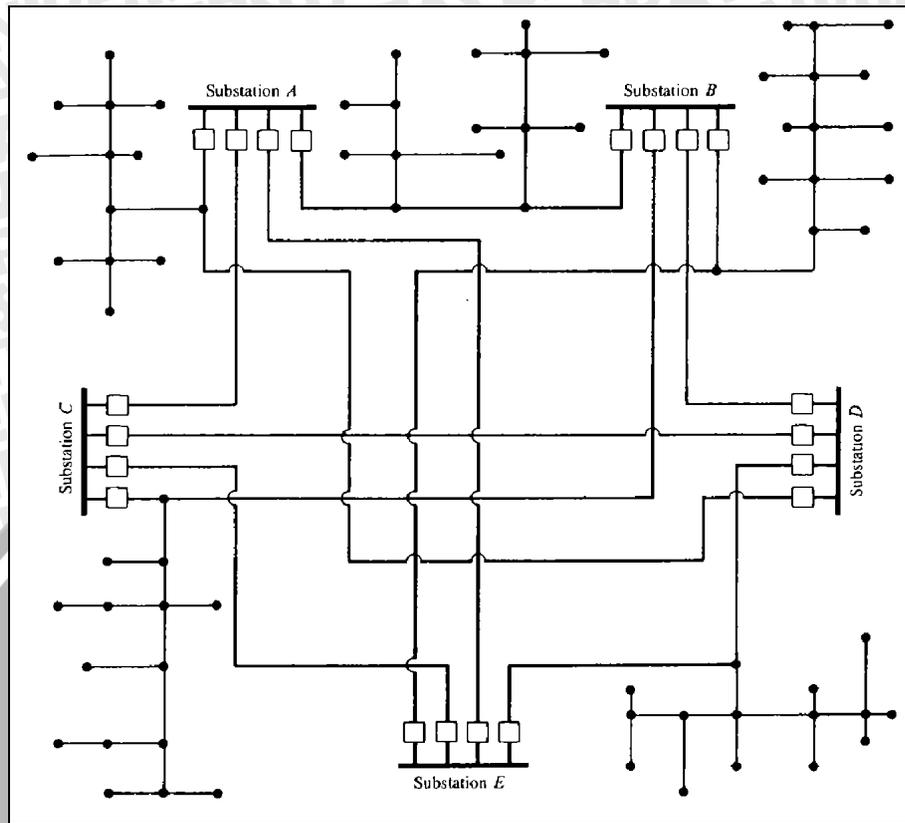
Sumber: Gonen, 1986: 230

Sistem distribusi jenis *loop* merupakan gabungan dari dua struktur jaringan radial, dimana pada ujung kedua jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT/CB) atau pemisah (PMS/DS). Pada saat gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik kebagian yang tidak terkena gangguan tidak berhenti. Dalam kondisi normal, struktur jaringan *loop* ini merupakan dua struktur jaringan radial. Struktur jaringan ini mempunyai keandalan yang cukup, sehingga biaya pembangunannya lebih mahal dibandingkan dengan biaya pembangunan struktur radial.

2.2.3 Tipe Mesh

Jaringan distribusi mesh/grid merupakan jaringan yang strukturnya kompleks, dimana keandalan pelayanannya diutamakan.

Sistem distribusi jenis *grid* merupakan salah satu sistem interkoneksi dari beberapa penyulang yang disuplai dari sejumlah gardu induk. Penyulang ini biasanya dilayani dari beberapa gardu induk secara langsung. Sistem ini bisa menyuplai beban dari beberapa arah seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tipe Jaringan Grid / Mesh

Sumber: Gonen, 1986: 231

Umumnya rugi – rugi yang ditimbulkan relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem radial. Keandalan dan kualitas pelayanan sangat tinggi jika dibandingkan dengan sistem radial dan sistem loop. Walaupun demikian, sangat sulit untuk mendesain dan mengoperasikan sistem ini jika dibandingkan dengan sistem radial dan sistem loop.

2.3 Gangguan Pada Sistem Distribusi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik ada yang berasal dari dalam sistem, dari luar sistem, dan dari faktor-faktor lain. Gangguan dari dalam sistem antara lain: tegangan dan arus abnormal, pemasangan yang kurang baik, penuaan, beban lebih. Gangguan dari luar sistem antara lain: gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain, kendaraan-kendaraan yang lewat di atas saluran, impuls petir lewat saluran udara, binatang, deformasi tanah.

Sumber gangguan pada saluran udara sistem distribusi sebagian besar terjadi karena pengaruh dari luar yaitu: angin, pohon, petir, kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran, manusia, cuaca dan hujan, binatang dan benda-benda asing.

Jenis gangguan (*fault*) pada sistem distribusi tenaga listrik dapat dibagi atas dua kelompok menurut sifatnya (SPLN 52-3-1983), yaitu:

- a. Gangguan yang bersifat temporer
Gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dengan sumber tegangannya.
- b. Gangguan yang bersifat permanen
Gangguan yang untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

2.4 Proteksi/Pengaman Sistem Distribusi

2.4.1 Tujuan

Tujuan utama dari proteksi sistem distribusi adalah meminimalkan durasi/ lama gangguan dan meminimalkan jumlah pelanggan yang terpengaruh akibat gangguan (Gonen, 1986: 528). Sedangkan tujuan sekunder dari proteksi sistem distribusi adalah:

- a. Mengeliminasi bahaya dari gangguan secepat mungkin
- b. Membatasi pemadaman pada segmen sistem sekecil mungkin
- c. Melindungi peralatan-peralatan konsumen/pelanggan
- d. Untuk melindungi sistem dari gangguan yang tidak seharusnya terjadi
- e. Untuk memutuskan saluran, trafo, atau peralatan lain yang mengalami gangguan

2.4.2 Peralatan Proteksi

Untuk mencapai tujuan proteksi pada sistem distribusi tenaga listrik seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, maka diperlukan peralatan untuk mendukung/melakukan fungsi tersebut.

2.4.2.1 Pemutus Tenaga/PMT (*Circuit Breaker*)

Pemutus tenaga adalah peralatan otomatis yang mampu membuka dan menutup rangkaian pada semua kondisi, baik pada kondisi operasi normal maupun pada saat terjadi gangguan. Pemutus tenaga harus dapat memadamkan busur api yang terjadi pada kontak-kontaknya saat terjadi pemisahan kontak. Media yang digunakan untuk memadamkan api antara lain adalah udara, minyak, udara tekan, vakum, dan gas (SF_6). Pada sistem distribusi, pemutus tenaga / PMT dipasang pada sisi hulu dari saluran distribusi primer (pada sisi hulu penyulang). Gambar 2.5 menunjukkan suatu pemutus

tenaga tiga fasa 20 kV suatu penyulang yang sedang dikeluarkan dari dalam *cubicle* untuk keperluan perawatan (*maintenance*).



Gambar 2.5 PMT 20kV yang Dikeluarkan dari *Cubicle*
 Sumber: PT PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan

2.4.2.2 Relay Proteksi

Suatu pemutus tenaga/PMT dapat melakukan trip/pemutusan rangkaian dengan bantuan relay proteksi eksternal. Relay berfungsi sebagai otak yang mengendalikan mekanisme pembukaan kontak PMT sehingga PMT dapat melakukan koordinasi dengan peralatan proteksi yang lain di sisi hilir saluran. Relay juga dapat melakukan mekanisme menutup kembali (*reclosing*).



Gambar 2.6 Relay Arus Lebih dan Hubung Tanah (OCR/DGR)
 Sumber: PT PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan

Pada dasarnya relay yang digunakan pada sistem distribusi adalah relay dengan penginderaan arus lebih. Sedangkan jenis relay yang banyak digunakan pada penyulang adalah relay arus lebih (*overcurrent relay/OCR*) untuk mendeteksi gangguan

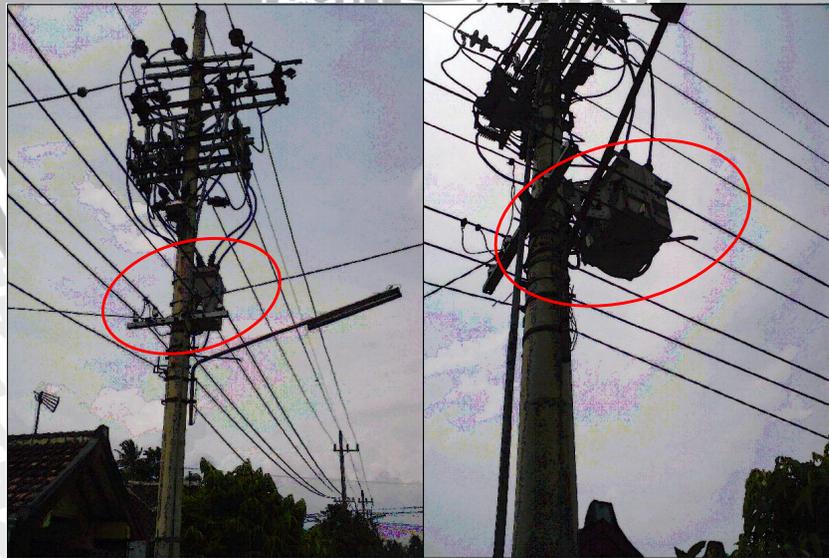
antar fasa dan relay gangguan tanah (*ground fault relay/GFR*) untuk mendeteksi gangguan fasa ke tanah. Gambar 2.6 menunjukkan suatu relay arus lebih dan relay gangguan fasa ke tanah yang sudah terpadu dalam satu kotak.

Pada sistem distribusi yang menggunakan sistem pentanahan tahanan tinggi untuk mendeteksi gangguan fasa ke tanah tidak menggunakan relay gangguan tanah (GFR) tetapi menggunakan relay gangguan tanah terarah (*directional ground fault relay/DGR*). Hal ini disebabkan arus gangguan fasa ke tanah yang kecil (maksimal 25A) pada pentanahan dengan tahanan tinggi (SPLN 52 -3-1983).

2.4.2.3 Penutup Balik Otomatis/PBO (*Recloser*)

Recloser atau PBO adalah peralatan proteksi arus lebih yang dapat melakukan trip/pemutusan rangkaian secara otomatis dan menutup kembali rangkaian selama beberapa kali untuk menghilangkan gangguan temporer dan mengisolasi gangguan permanen (Gonen 1986:511). *Recloser* bekerja berdasarkan mekanisme urutan buka (*opening*) dan tutup (*reclosing*) yang diikuti *reset-hold closed-lockout*. Pada umumnya *recloser* dirancang dengan tiga kali mekanisme buka-tutup, dan setelah itu *recloser* akan mengunci (*lockout*) pada posisi buka (*open*).

Gambar 2.7 menunjukkan suatu *recloser* yang terpasang pada jaringan distribusi tenaga listrik. Gambar yang ditandai dengan lingkaran merah menunjukkan tempat kontak-kontak utama dari *recloser* sedangkan panel kontrol *recloser* berada pada bagian bawah (tidak terlihat pada gambar).



Gambar 2.7 *Recloser* pada Jaringan Distribusi

Sumber: PT. PLN (Persero) APJ Malang

2.4.2.4 Sectionalizer/ Sakelar Seksi Otomatis (SSO)

Sectionalizer adalah peralatan yang mengisolasi secara otomatis bagian (*section*) yang mengalami gangguan setelah pemutus tenaga atau recloser membuka karena arus gangguan (Gers & Holmes, 2004: 113). Karena sectionalizer tidak mempunyai kapasitas pemutusan arus gangguan (*fault current breaking capacity*), maka harus dipasang/berkoordinasi dengan peralatan proteksi lain yang mempunyai kapasitas pemutusan arus gangguan, sehingga *sectionalizer* harus dipasang pada sisi hilir dari *recloser* (Penutup Balik Otomatis/PBO).

Sectionalizer menghitung jumlah operasi *recloser* selama kondisi gangguan. Setelah jumlah buka tertentu dari *recloser*, maka sectionalizer akan membuka dan mengisolir bagian (*section*) dari saluran yang mengalami gangguan. Kemudian *recloser* akan menutup kembali sehingga daerah yang bebas dari gangguan akan mendapatkan suplai tenaga listrik. Jika gangguan yang terjadi bersifat temporer/sementara maka mekanisme kerja *sectionalizer* akan mengalami *reset*.

Manfaat atau keuntungan yang didapatkan dari penggunaan sectionalizer pada jaringan distribusi tenaga listrik adalah:

- Jika dipakai untuk menggantikan *recloser*, maka *sectionalizer* membutuhkan biaya yang lebih rendah dan perawatan lebih sedikit.
- Jika dipakai untuk menggantikan *fuse cut-out*, maka penggunaan *sectionalizer* lebih mudah dalam melakukan koordinasi pengaman/proteksi.
- Sectionalizer* dapat dipakai untuk memutuskan atau memindahkan beban ke bagian atau ke penyulang lain



Gambar 2.8 Sectionalizer tipe AVS, PGS, dan LBS (manual)

Sumber: PT. PLN (Persero) APJ Malang

Gambar 2.8 menunjukkan beberapa tipe *sectionalizer* yang sering dipakai pada pada jaringan distribusi tegangan menengah milik PLN. Gambar sebelah kiri adalah *sectionalizer* tipe AVS (*Automatic Vacuum Switch*) yaitu *sectionalizer* dengan media isolasi hampa udara/vakum pada kontak-kontaknya. Gambar bagian tengah adalah tipe PGS (*Pole Gas Switch*) yang menggunakan media isolasi gas (umumnya gas SF₆). Sedangkan gambar sebelah kanan adalah tipe LBS (*Load Break Switch*) yang menggunakan media isolasi udara dan masih harus dioperasikan secara manual oleh petugas di lapangan.

2.4.2.5 Fuse

Fuse adalah peralatan proteksi arus lebih yang dilengkapi dengan sebuah elemen yang mengalami pemanasan langsung oleh arus yang melewatinya dan akan rusak jika arus melebihi nilai tertentu karena gangguan (*fault*) atau karena beban lebih (*overload*). Gambar 2.9 adalah fuse jenis *cut-out* yang sering dipakai pada jaringan distribusi tenaga listrik tegangan menengah. Fuse ini dapat dipakai sebagai pengaman/proteksi pada cabang penyulang maupun sebagai pengaman pada trafo distribusi.

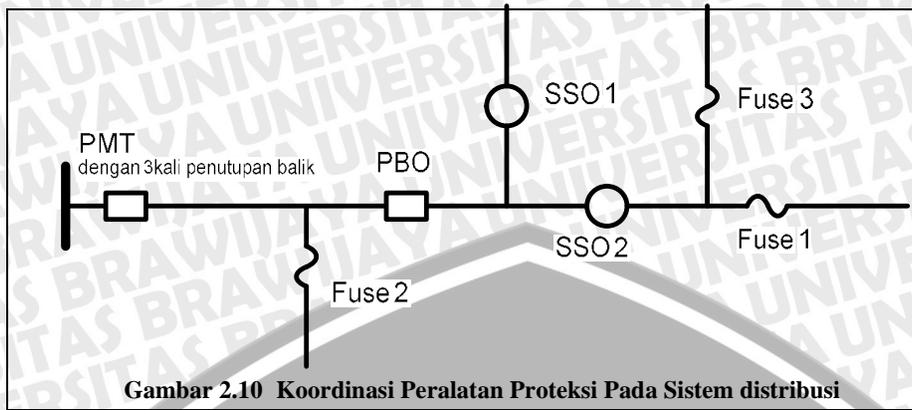


Gambar 2.9 Fuse Cut-Out Untuk Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sumber: http://engineeringonline.ncsu.edu/notes/ece/ECE592F/ECE592f_s09_5.pdf

2.4.3 Koordinasi Peralatan Proteksi

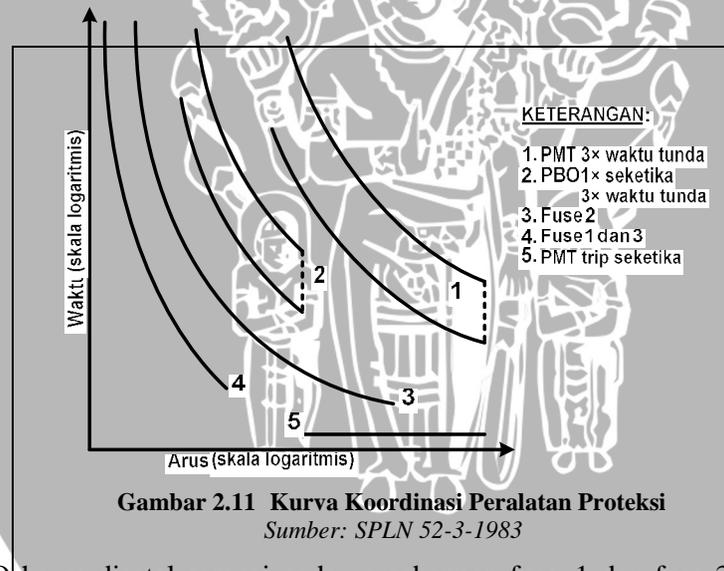
Digambarkan suatu penyulang dengan pemutus tenaga (PMT), penutup balik otomatis (PBO), sakelar seksi otomatis (SSO), dan fuse/pengaman lebur (Fuse) seperti pada gambar 2.10. Koordinasi proteksi dilakukan antara PMT dengan peralatan-peralatan proteksi pada jaringan (PBO, SSO, dan Fuse) untuk pengamanan terhadap gangguan yang terjadi pada sisi hilir dari PMT (pada jaringan).



Gambar 2.10 Koordinasi Peralatan Proteksi Pada Sistem distribusi

Sumber: SPLN 52-3-1983

Bila terjadi gangguan pada sisi beban fuse-2 maka unit seketika (*instantaneous*) dari relay PMT akan mengakibatkan PMT melakukan trip dan PMT akan menutup balik sehingga pemadaman pada seluruh sistem hanya akan terjadi sebentar saja. Apabila gangguan tersebut bersifat permanen maka fuse-2 akan putus sebelum PMT trip untuk kedua kalinya. Gambar 2.11 menunjukkan kurva koordinasi peralatan-peralatan proteksi pada suatu penyulang.



Gambar 2.11 Kurva Koordinasi Peralatan Proteksi

Sumber: SPLN 52-3-1983

PBO harus disetel sampai pada percabangan fuse-1 dan fuse-3 sehingga harus berkoordinasi dengan fuse-1 dan fuse-3. SSO-2 disetel untuk membuka pada waktu periode buka kedua atau ketiga dari PBO. Pengaturan ini memungkinkan dipulihkannya pelayanan pada cabang SSO-1 jika terjadi gangguan antara SSO-2 dan fuse-1 atau antara SSO-2 dan fuse-3. Demikian juga SSO-1 juga dapat disetel untuk membuka pada waktu periode buka kedua atau ketiga dari PBO. Dengan demikian pelayanan dapat dipulihkan pada cabang SSO-2 jika terjadi gangguan permanen pada cabang SSO-1.

2.5 Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.5.1 Definisi

Keandalan (*reliability*) secara umum didefinisikan sebagai probabilitas suatu alat/komponen dapat melakukan fungsinya dengan baik untuk periode waktu tertentu dan pada kondisi tertentu (Dhillon, 2006). Sedangkan keandalan dalam sistem distribusi adalah suatu ukuran ketersediaan/ tingkat pelayanan penyedia tenaga listrik dari sistem ke pemakai (Sukerayasa, 2007). 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*).

2.5.2 Istilah-Istilah

Ada beberapa istilah yang digunakan dalam analisis tentang keandalan sistem distribusi tenaga listrik, yaitu:

- **Pemadaman (*Interruption of Supply*)**
Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, akibat dari satu atau lebih komponen mendapat gangguan.
- **Keluar (*Outage*)**
Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu keluar dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih tergantung pada konfigurasi dari sistem.
- **Lama Keluar (*Outage Duration*)**
Periode dari saat permulaan komponen mengalami keluar sampai saat komponen dapat dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
- **Lama Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage Duration*)**
Waktu singkat, karena alat pemutus mampu bekerja menutup kembali dengan cepat, tanpa merusak komponen.
- **Lama Keluar Paksa Permanen (*Permanent Forced Outage Duration*)**
Waktu yang diperlukan dari saat permulaan komponen mengalami keluar sampai komponen mendapat perbaikan.
- **Lama Keluar Terencana (*Scheduled Outage Duration*)**
Waktu yang diperlukan untuk perawatan dan pemeliharaan yang telah direncanakan.

- **Lama Pemadaman (*Interruption Duration*)**

Waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai saat menyala kembali. Adapun yang dianggap pemadaman dalam SPLN 59-1985 adalah pemadaman sebagai akibat kegagalan menetap baik yang darurat maupun terencana.

- **Kegagalan Parsial (*Partial Failure*)**

Kegagalan parsial menggambarkan kondisi sebuah komponen yang bekerjanya tidak bisa sama dengan kemampuan yang semestinya tetapi tidak berarti tidak bisa bekerja sama sekali.

- **Kegagalan Total (*Complete Failure*)**

Kegagalan total menggambarkan kondisi sebuah komponen yang sama sekali tidak bisa bekerja.

- **Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage*)**

Keluar yang penyebabnya bisa hilang dengan sendirinya, sehingga alat atau komponen yang gagal tersebut bisa berfungsi normal kembali secara otomatis atau setelah sebuah pemutus ditutup lagi, atau pelebur diganti. Contoh keluar darurat transien ialah sambaran petir yang tidak menyebabkan alat atau komponen mengalami kerusakan.

- **Keluar Paksa Permanen (*Permanent Forced Outage*)**

Keluar yang penyebabnya tidak bisa hilang dengan sendirinya, tetapi harus dihilangkan terlebih dahulu atau komponen yang keluar harus diganti atau diperbaiki sebelum komponen tersebut bisa digunakan kembali. Contoh keluar paksa permanen ialah sambaran petir, yang menyebabkan pecahnya isolator sehingga baru dapat berfungsi kembali sesudah isolator diganti.

- **Pemadaman Paksa (*Forced Interruption*)**

Pemadaman yang disebabkan oleh keluar darurat.

- **Pemadaman Terencana (*Scheduled Interruption*)**

Pemadaman yang disebabkan oleh keluar terencana.

- **Pemadaman Sejenak (*Momentary Interruption*)**

Pemadaman yang waktunya terbatas diperlukan hanya untuk mengembalikan suplai dengan cara otomatis, dengan cara pengaturan jarak jauh atau dengan cara manual yang langsung dikerjakan oleh operator yang sudah siap ditempat. Pemadaman ini biasanya memerlukan waktu tidak lebih dari 5 menit.

- **Pemadaman Temporer (*Temporary Interruption*)**

Pemadaman yang waktunya terbatas diperlukan hanya untuk mengembalikan suplai dengan cara manual yang dikerjakan oleh operator yang tidak siap di tempat. Pemadaman ini biasanya memerlukan waktu 1-2 jam.

- **Pemadaman Bertahan (*Sustained Interruption*)**

Pemadaman yang bukan pemadaman sejenak, dan juga bukan pemadaman temporer.

2.5.3 Parameter Dasar Keandalan

Ada tiga parameter dasar keandalan yang sering dipakai yaitu, laju kegagalan / angka keluar / *failure rate* (λ), waktu keluar rata-rata / *average outage time* (r), dan waktu keluar tahunan rata-rata / *average annual outage time* (U).

$$U = \lambda \times r \quad (2-1)$$

dengan λ dalam satuan gangguan per tahun, r dalam satuan jam (tepatnya dalam satuan jam per gangguan), dan U dalam satuan jam per tahun.

2.5.4 Indeks Keandalan

Meskipun tiga parameter dasar keandalan di atas adalah penting, tetapi tidak selalu dapat memberikan gambaran keadaan dan respon secara lengkap dari sistem. Oleh karena itu untuk dapat memberikan gambaran secara lebih lengkap dan signifikan maka diperlukan parameter lain (indeks). Selanjutnya akan dijelaskan indeks keandalan berorientasi pelanggan yaitu: SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, ASUI; dan indeks keandalan berorientasi beban/ energi yaitu: ENS dan AENS. Gangguan yang dimaksud pada indeks-indeks tersebut pada pembahasan berikutnya adalah gangguan yang menyebabkan pemadaman

2.5.4.1 *System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah seluruh gangguan pelanggan yang menyebabkan pemadaman dibagi dengan jumlah seluruh pelanggan yang dilayani. Indeks ini menunjukkan rata-rata jumlah gangguan yang terjadi dalam satu tahun. SAIFI juga dapat merepresentasikan laju kegagalan rata-rata (*average failure rate*).

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah Seluruh Gangguan Pada Pelanggan}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad (\text{pemadaman / tahun}) \quad (2-2)$$

dengan λ_i adalah laju kegagalan dan N_i adalah jumlah pelanggan pada titik beban ke- i .

2.5.4.2 System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah seluruh durasi gangguan/pemadaman pelanggan dibagi dengan jumlah seluruh pelanggan yang dilayani. Indeks ini menyatakan rata-rata durasi pemadaman per tahun.

$$SAIDI = \frac{\text{Jumlah Seluruh Durasi Gangguan Pada Pelanggan}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad (\text{jam / tahun}) \quad (2-3)$$

dengan U_i adalah waktu keluar tahunan dan N_i adalah jumlah pelanggan pada titik beban ke- i .

2.5.4.3 Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah seluruh durasi gangguan pelanggan dibagi dengan jumlah seluruh gangguan pada pelanggan. Indeks ini menunjukkan durasi/lama tiap pemadaman. Sementara dari sudut pandang pelanggan, CAIDI adalah waktu perbaikan yang tampak.

$$CAIDI = \frac{\text{Jumlah Seluruh Durasi Gangguan Pada Pelanggan}}{\text{Jumlah Seluruh Gangguan Pada Pelanggan}}$$

$$CAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} \quad (\text{jam / pemadaman}) \quad (2-4)$$

dengan λ_i adalah laju kegagalan, U_i adalah waktu keluar tahunan, dan N_i adalah jumlah pelanggan pada titik beban ke- i .

2.5.4.4 Average System Availability Index (ASAI)

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah jam ketersediaan pelayanan pada pelanggan dibagi dengan jumlah jam pelayanan yang dibutuhkan pelanggan. Indeks ini menunjukkan berapa jam kontinuitas pelayanan pada pelanggan dapat berlangsung selama satu tahun.

$$ASAI = \frac{\text{Customer Hours Service Availability}}{\text{Customer Hours Service Demanded}}$$

$$ASAI = \frac{8760 \times \sum N_i - \sum U_i N_i}{8760 \times \sum N_i} = \frac{8760 - SAIDI}{8760} \quad (2-5)$$

dengan 8760 adalah jumlah jam (365×24) dalam satu tahun, U_i adalah waktu keluar tahunan, dan N_i adalah jumlah pelanggan pada titik beban ke- i .

2.5.4.5 Average System Unavailability Index (ASUI)

Didefinisikan sebagai jumlah jam ketidakterediaan pelayanan pada pelanggan dibagi dengan jumlah jam pelayanan yang dibutuhkan pelanggan. Indeks ini merupakan kebalikan dari ASAI sehingga menunjukkan berapa jam pelayanan tenaga listrik tidak dapat berlangsung atau dengan kata lain indeks yang menyatakan ketidakterediaan (*unavailability*)

$$ASUI = \frac{\text{Customer Hours Service Unavailability}}{\text{Customer Hours Service Demanded}}$$

$$ASUI = \frac{\sum U_i N_i}{8760 \times \sum N_i} = 1 - ASAI \quad (2-6)$$

dengan 8760 adalah jumlah jam (365×24) dalam satu tahun, U_i adalah waktu keluar tahunan, dan N_i adalah jumlah pelanggan pada titik beban ke- i .

2.5.4.6 Energy Not Supplied (ENS)

Indeks ini menyatakan besarnya energi yang tidak dapat tersalurkan selama periode waktu satu tahun pada seluruh pelanggan (pada sistem).

$$ENS = \text{Jumlah Energi Tidak Tersalur} = \sum La_i U_i \text{ (MWh / tahun)} \quad (2-7)$$

dengan U_i adalah waktu keluar tahunan dan La_i adalah beban rata-rata yang terhubung pada titik beban ke- i .

2.5.4.7 Average Energy Not Supplied (AENS)

Indeks ini menyatakan besarnya energi yang tidak dapat tersalurkan pada masing-masing pelanggan selama satu tahun.

$$AENS = \frac{\text{Jumlah Energi Tidak Tersalur}}{\text{Jumlah Seluruh Pelanggan}}$$

$$AENS = \frac{\sum La_i U_i}{\sum N_i} \text{ (kWh / pelanggan-tahun)} \quad (2-8)$$

dengan U_i adalah waktu keluar tahunan, N_i adalah jumlah pelanggan, dan La_i adalah beban rata-rata yang terhubung pada titik beban ke- i .

2.5.5 Variabel yang Mempengaruhi Indeks Keandalan

Keandalan pada suatu sistem distribusi tenaga listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor/ variabel yaitu:

a. Panjang saluran dan kerapatan beban

Semakin panjang saluran distribusi maka akan lebih rentan terhadap terjadinya gangguan yang berarti lebih tidak handal. Akan tetapi hal ini sulit dihindari pada jaringan tipe radial meskipun telah ditempatkan *recloser*, *sectionalizer*, *fuse* pada jaringan. Pengaruh terbesar panjang saluran dan kerapatan beban adalah terhadap SAIFI. Daerah dengan kerapatan beban tinggi cenderung memiliki keandalan yang lebih baik terutama dalam hal SAIFI.

b. Konfigurasi jaringan

Konfigurasi jaringan mempunyai pengaruh yang paling besar terhadap keandalan. Jaringan tipe radial murni mempunyai tingkat keandalan yang paling buruk.

c. Tegangan sistem

Tingkat tegangan yang dipakai pada saluran distribusi juga berpengaruh terhadap keandalan, dimana semakin tinggi tegangan yang digunakan maka gangguan akan semakin sering terjadi. Tegangan yang lebih tinggi digunakan terutama karena tuntutan akan saluran yang semakin panjang.

d. Tren keandalan jangka panjang

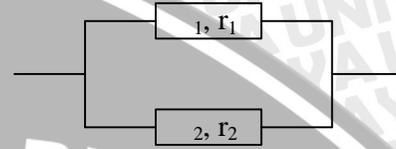
Perusahaan penyedia tenaga listrik biasanya memiliki catatan keandalan sistem selama beberapa tahun sehingga dapat diketahui tren keandalan untuk jangka panjang. Akan tetapi tren keandalan jangka panjang ini umumnya dipengaruhi oleh cuaca, kondisi fisik lingkungan, umur peralatan dan jaringan, metode pencatatan gangguan, dan kecenderungan penggunaan tingkat tegangan yang lebih tinggi.

2.5.6 Pemodelan Jaringan Distribusi

Model keandalan jaringan distribusi dapat direduksi menjadi kombinasi elemen seri (gambar 2.13) dan elemen paralel (gambar 2.14) dari dua atau lebih komponen untuk menyederhanakan sistem agar dapat dengan mudah di analisis. Hal ini sangat membantu terutama untuk jaringan dengan tipe *loop*, *spot* atau *grid network*, dan *parallel feeder*.



Gambar 2.12 Model Elemen Seri
Sumber: IEEE Std. 493-1990: 113



Gambar 2.13 Model Elemen Paralel
Sumber: IEEE Std. 493-1990: 113

Parameter dasar keandalan untuk elemen seri dapat digabungkan menjadi:

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \quad (2-9)$$

$$U_s = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 + \dots + \lambda_n r_n \quad (2-10)$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} \quad (2-11)$$

dengan:

- λ_s = laju kegagalan elemen seri
- r_s = waktu keluar rata-rata elemen seri
- U_s = waktu keluar tahunan rata-rata elemen seri
- 1, 2, ... = indeks dari elemen individu yang menyusun elemen seri

Sedangkan parameter dasar keandalan pada elemen paralel dapat digabungkan menjadi:

$$\lambda_p = \frac{U_p}{r_p} \quad (2-12)$$

$$U_p = \lambda_1 r_1 \times \lambda_2 r_2 \times \dots \times \lambda_n r_n \quad (2-13)$$

$$r_p = \frac{1}{1/r_1 + 1/r_2 + \dots + 1/r_n} \quad (2-14)$$

dengan:

- λ_p = laju kegagalan elemen paralel
- r_p = waktu keluar rata-rata elemen paralel
- U_p = waktu keluar tahunan rata-rata elemen paralel
- 1, 2, ... = indeks dari elemen individu yang menyusun elemen paralel

Untuk jaringan distribusi tipe radial dapat digunakan kombinasi seri dari masing-masing elemen individu. Jika komponen seri antara gardu induk dan pelanggan mengalami kegagalan, maka pelanggan akan mengalami pemadaman.

2.5.7 Peningkatan Keandalan

Ada beberapa metode untuk mengurangi pemadaman karena gangguan dengan durasi yang lama, antara lain adalah:

- Mengurangi peluang gangguan: memangkas ranting pohon, penggunaan arrester, pemeriksaan jaringan.
- Menemukan dan memperbaiki gangguan secara lebih cepat: indikator gangguan pada jaringan, sistem manajemen gangguan, pembentukan kru lapangan, penggunaan metode yang lebih cepat untuk menemukan lokasi gangguan kabel.
- Membatasi jumlah pelanggan yang terganggu: penggunaan *fuse*, *recloser*, *sectionalizer* dalam jumlah yang lebih banyak.
- Hanya melakukan pemadaman untuk gangguan permanen: penentuan skema koordinasi peralatan pengaman / proteksi seperti *fuse* dan *recloser*.

Langkah penting dalam meningkatkan keandalan adalah menentukan indeks/ukuran apa yang akan dioptimalkan, apakah SAIFI, SAIDI, kombinasinya atau indeks yang lain. Dan pada akhirnya peningkatan keandalan harus dikompensasi dengan pengeluaran biaya investasi sehingga perlu dicari solusi optimal antara biaya dan peningkatan keandalan yang didapatkan.

2.5.8 Standarisasi Tingkat Keandalan

2.5.8.1 SPLN 59-1985 dan SPLN 52-3-1983

Dalam SPLN 59-1985 tentang keandalan pada sistem distribusi disebutkan bahwa mutu pelayanan diukur dari frekuensi/kerapnya pemadaman terjadi dan lamanya pemadaman. Oleh karena itu untuk mengukur performansi sistem distribusi maka indeks keandalan yang digunakan adalah indeks frekuensi pemadaman rata-rata (f) dan indeks lama pemadaman rata-rata (d).

Indeks Frekuensi Pemadaman Rata-rata

Indeks ini dihitung dari angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman.

$$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i \quad \text{pemadaman/tahun} \quad (2-15)$$

dengan:

- i = angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman
- i = indeks dari komponen
- X_i = panjang penyulang atau unit komponen
- C_i = jumlah konsumen per unit yang mengalami pemadaman
- n = banyaknya komponen yang keluar yang menyebabkan pemadaman

Indeks Lama Pemadaman Rata-rata

Indeks ini dihitung dari angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman dan waktu pemulihan pelayanan.

$$d = \sum_{i=1}^n X_i \lambda_i \left(\sum_{j=1}^m C_{ij} t_{ij} \right) \text{ jam/tahun} \tag{2-16}$$

dengan:

- i = angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman
- X_i = panjang penyulang atau jumlah unit komponen
- n = jumlah komponen yang keluar yang menyebabkan pemadaman
- m = jumlah dari fungsi kerja yang terlibat dalam pemulihan pelayanan
- C_{ij} = jumlah konsumen per unit yang mengalami pemadaman selama langkah demi langkah dari operasi kerja ($j = 1, 2, \dots, m$ indeks dari operasi kerja)
- t_{ij} = waktu yang diperlukan dalam langkah demi langkah dari operasi kerja pemulihan pelayanan untuk komponen ke- i pada langkah ke- j

Tabel 2.1 Angka Keluar Komponen Sistem Distribusi

No	Komponen	Angka Keluar ()
1.	Saluran udara	0,2 / km / tahun
2.	Kabel saluran bawah tanah	0,07 / km / tahun
3.	Pemutus tenaga	0,004 / unit / tahun
4.	Sakelar beban	0,003 / unit / tahun
5.	Sakelar pisah	0,003 / unit / tahun
6.	Penutup balik	0,005 / unit / tahun
7.	Penyambung kabel	0,001 / unit / tahun
8.	Trafo distribusi	0,005 / unit / tahun
9.	Pelindung jaringan	0,005 / unit / tahun
10.	Rel tegangan rendah	0,001 / unit / tahun

Sumber: SPLN 59-1985: 7

Tabel 2.2 Waktu Operasi Kerja dan Pemulihan Pelayanan

Operasi Kerja	Waktu (jam)
A. Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke G.I.	0,5
A. Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke alat penutup kembali	1,0
B. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	0,16
B. Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya untuk sistem spot network	0,2
C. Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan (hanya untuk sistem spindle)	0,083
D. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup pemutus tenaga atau penutup kembali	0,25
E. Waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau sakelar pisah	0,15
F. Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kawat penghantar udara	3
G. Waktu yang dibutuhkan untuk mencari loka si gangguan pada kabel bawah tanah	5
H. Waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki kabel saluran bawah tanah	10
I. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti /memperbaiki pemutus tenaga, sakelar beban, penutup kembali, atau sakelar pisah	10
J. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti penyambung kabel untuk kabel yang berisolasi kertas	15
K. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti trafo dsitribusi	10
L. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti pelindung jaringan	10
M. Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki bus tegangan rendah	10

Sumber: SPLN 59-1985: 8

Tingkat Kontinuitas Pelayanan

Jaringan distribusi mempunyai tingkat kontinuitas pelayanan yang bergantung pada susunan (konfigurasi) dan cara pengoperasiannya. Tingkat kontinuitas pelayanan pada sistem distribusi diukur dari lamanya waktu untuk menghidupkan kembali suplai tenaga listrik setelah mengalami pemadaman karena gangguan (SPLN 52-3-1983).

- Tingkat 1: dimungkinkan padam berjam-jam; yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan.
- Tingkat 2: padam beberapa jam; yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir gangguan, dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan sementara kembali dari arah atau saluran yang lain.
- Tingkat 3: padam beberapa menit; manipulasi oleh petugas yang *stand-by* di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.
- Tingkat 4: padam beberapa detik; pengamanan dan manipulasi secara otomatis.
- Tingkat 5: tanpa padam; dilengkapi dengan instalasi cadangan terpisah dan otomatisasi secara penuh

2.5.8.2 IEEE Std. 1366-2000 dan *World Class Services* (WCS) PLN

Tingkat keandalan yang digunakan pada IEEE Std. 1366 -2000 diukur melalui indeks keandalan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) seperti yang telah diuraikan pada subbab 2.5.4 tentang indeks keandalan. Kedua indeks keandalan ini (SAIFI dan SAIDI) banyak digunakan untuk mengukur tingkat keandalan sistem distribusi oleh banyak industri/ perusahaan penyedia tenaga listrik di dunia.

Sedangkan menurut *world class service* PLN, nilai SAIFI sesuai standar layanan kelas dunia maksimal adalah 3 kali per tahun dan nilai SAIDI yang dipersyaratkan adalah 100 menit per satu tahun periode pengukuran atau 1,67 jam per tahun.

Tabel 2.3 Beberapa Standar Indeks Keandalan

	SAIFI Interruption/Year			SAIDI Hour/Year		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
IEEE Std. 1366-2000	0,90	1,10	1,45	0,89	1,50	2,30
EI (1999) [exclude storms]	0,92	1,32	1,71	1,16	1,74	2,23
EI (1999) [with storms]	1,11	1,33	2,15	1,36	3,00	4,38
Indianapolis Power & Light (2000)	0,72	0,95	1,15	1,02	1,64	2,41

Note: 25%, 50%, and 75% represent the lower quartile, the median, and the upper quartile

Sumber: Short, 2006: 3

2.6 Sectionalizer Pada Jaringan Distribusi

Sectionalizer adalah sakelar pembagi seksi (*sections*) yang berfungsi untuk melokalisir gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi sehingga seksi -seksi lain yang tidak terganggu tetap mendapat suplai tenaga listrik. Sehingga dengan adanya *sectionalizer* ini maka luas daerah yang mengalami pemadaman karena gangguan dapat dikurangi. Peralatan ini terdiri dari pemutus (di Jawa Timur menggunakan sakelar vakum / AVS-*Automatic Vacuum Switch*), kotak-pengatur, dan transformator untuk memberi tegangan ke kotak pengatur. Cara kerja *sectionalizer* jenis AVS pada jaringan distribusi tipe radial dan *loop* akan dijelaskan pada subbab 2.6.1 dan 2.6.2. Gambar 2.14 menunjukkan sebuah AVS yang terpasang pada suatu jaringan distribusi tenaga listrik milik PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur Area Pelayanan dan Jaringan (APJ) Malang.

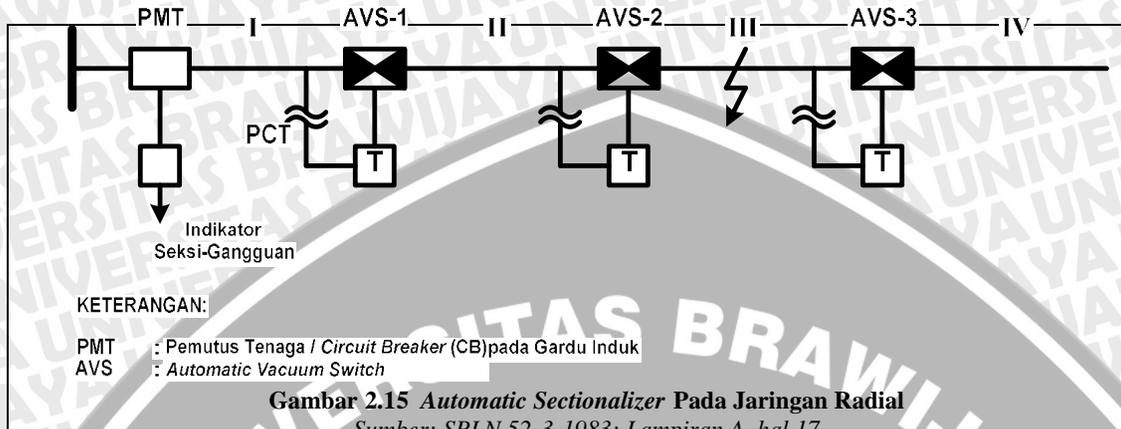


Gambar 2.14 Automatic Vacuum Switch (AVS)

Sumber: PT. PLN (Persero) APJ Malang

2.6.1 Pada Jaringan Radial

Cara kerja *sectionalizer* (jenis AVS) pada jaringan distribusi tipe radial dapat dijelaskan dengan pada gambar 2.15 berikut ini.



Misalnya gangguan terjadi pada seksi III maka urutan kerja alat pengaman adalah sebagai berikut:

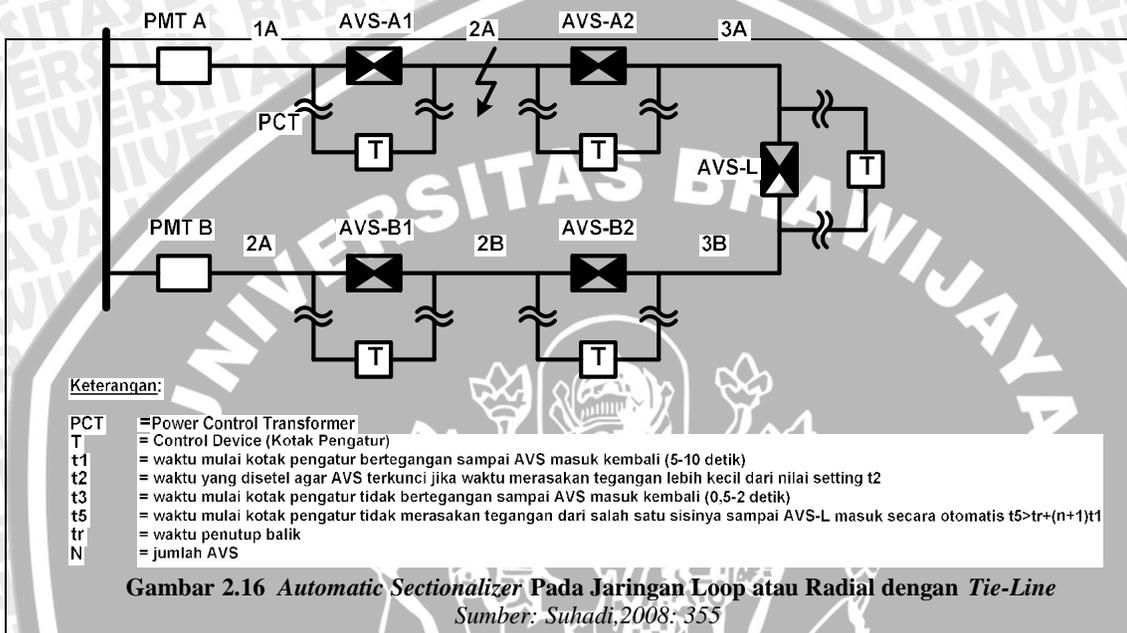
- Pemutus Tenaga (PMT) penyulang di gardu induk mengalami trip.
- Karena tidak ada tegangan pada penyulang maka AVS-1, AVS-2, dan AVS-3 terbuka setelah selang waktu T_3 .
- Setelah dicapai waktu menutup kembali, maka PMT penyulang di gardu induk masuk kembali (*reclosed*).
- AVS -1 mendapat tegangan dan setelah selang waktu T_1 maka AVS -1 masuk secara otomatis.
- AVS -2 mendapat tegangan dan setelah selang waktu T_1 maka AVS-2 masuk secara otomatis sehingga seksi III yang mengalami gangguan dialiri listrik.
- Karena di seksi III masih ada gangguan, maka PMT mengalami trip lagi, dan setelah selang waktu T_3 maka AVS-1 dan AVS-2 terbuka lagi. AVS-2 langsung terkunci karena waktu SSO-2 merasakan tegangan cepat sekali (lebih kecil dari waktu T_2 yang disetel)
- PMT gardu induk masuk kembali setelah dicapai waktu menutup balik.
- AVS-1 mendapat tegangan dan setelah selang waktu T_1 maka AVS-1 masuk secara otomatis. Sehingga seksi I dan II mendapat aliran listrik.

Dengan T_1 adalah waktu mulai kotak pengatur bertegangan sampai dengan sakelar masuk kembali secara otomatis, biasanya antara 5-10 detik. T_2 adalah waktu yang disetel agar sakelar terkunci bila waktu merasakan bertegangan lebih kecil dari

waktu T_2 yang disetel, biasanya antara 4-7 detik. T_3 adalah waktu mulai kotak pengatur tidak bertegangan sampai dengan sakelar terbuka, biasanya antara 0,5 -2 detik.

2.6.2 Pada Jaringan Loop/Radial dengan Tie-Line

Cara kerja *sectionalizer* (jenis AVS) pada jaringan distribusi tipe loop atau pada tipe radial dengan *tie-line* dapat dijelaskan dengan gambar 2.16.



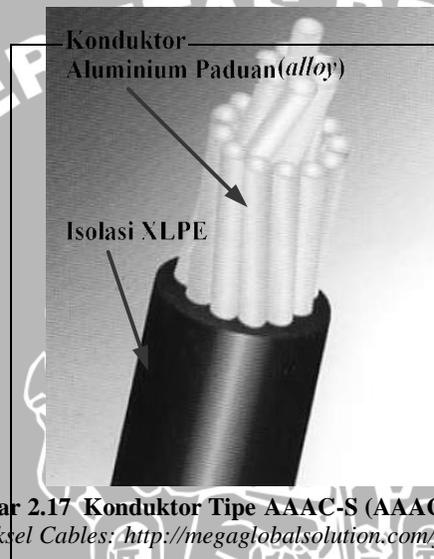
Misalnya gangguan terjadi pada seksi 2A, maka koordinasi pengaman sebagai berikut:

- Relai PMT-A bekerja, memerintahkan PMT-A trip
- Karena tidak ada tegangan pada penyulang A, maka AVS -A1 dan AVS-A2 membuka setelah selang waktu t_3 .
- Setelah waktu *recloser* ke-1 dari penutup balik dicapai, maka PMT -A masuk setelah selang waktu t_1 dan AVS-A1 masuk.
- Karena gangguan di seksi 2A masih ada (permanen) maka PMT -A trip lagi
- AVS-A1 langsung mengunci karena waktu merasakan tegangan lebih kecil dari t_2 .
- Setelah waktu menutup balik ke-2 dari penutup balik tercapai PMT -A masuk dan seksi 1A bertegangan.
- Setelah selang waktu t_5 dari AVS-L, AVS-L akan masuk sehingga PMT-B trip karena relai di B merasakan adanya gangguan.

- h. Pada penyulang B terjadi buka tutup, sampai AVS -A2 lock-out sehingga seksi 2A terisolasi dan seksi 3A mendapat suplai dari penyulang B.

2.7 AAAC-S (AAACOC atau AAAC berisolasi)

AAAC-S adalah salah satu jenis konduktor yang dipakai pada saluran udara tetapi dilapisi dengan isolasi polietilen ikat silang (XLPE) yang umumnya berwarna hitam. Tujuan dari isolasi ini adalah untuk meminimalkan terjadinya gangguan pada saluran udara terutama gangguan karena sentuhan dengan pohon, tetapi isolasi ini tidak berfungsi sebagai isolasi secara penuh (SPLN 41-10-1991).



Gambar 2.17 Konduktor Tipe AAAC-S (AAAC berisolasi)

Sumber: Voksel Cables: <http://megaglobalsolution.com/files/AAACS.PDF>

Bentuk fisik dari penghantar/konduktor jenis AAAC-S ditunjukkan pada gambar 2.17, dimana pada bagian dalam adalah konduktor tipe aluminium paduan/*alloy* (*All Aluminium Alloy Conductor/AAAC*) dan bagian luar adalah isolasi polietilen ikat silang (*extruded black crosslink polyethylene/XLPE*).

Dengan demikian AAAC-S memiliki keandalan yang lebih baik dibandingkan dengan AAAC. Hal ini ditunjukkan dengan angka keluar / laju kegagalan / *failure rate* () dari AAAC-S yang bernilai sebesar 0,187 / km / tahun, sedangkan AAAC bernilai 0,2 / km / tahun. (Sukerayasa, 2007).

2.8 Algoritma Genetika

2.8.1 Penjelasan Umum Algoritma Genetika

Algoritma Genetika (*genetic algorithm*) adalah suatu metode untuk menyelesaikan masalah optimasi dengan pembatas (*constrained*) maupun tanpa pembatas (*unconstrained*). Algoritma genetika diinspirasi dari prosedur seleksi alam

yang mengendalikan proses evolusi biologis. Pada setiap langkah iterasi, algoritma genetika memilih individu secara acak dari populasi sebelumnya untuk menjadi orang tua/induk dari keturunan generasi selanjutnya. Pada setiap urutan generasi, populasi berkembang ke arah solusi optimal.

Algoritma genetika menggunakan tiga jenis aturan utama pada setiap langkah iterasi untuk menghasilkan generasi selanjutnya dari populasi yang ada, yaitu:

- Seleksi (*selection*), yaitu memilih individu-individu sebagai induk (*parents*) yang berkontribusi pada populasi generasi selanjutnya
- Persilangan (*crossover*), yaitu menggabungkan dua induk untuk membentuk keturunan/anak pada generasi selanjutnya
- Mutasi (*mutation*), yaitu menerapkan perubahan secara acak pada individu induk untuk membentuk keturunan.

Algoritma genetika dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah optimasi yang fungsi obyektifnya bersifat diskontinyu, non-diferensial, stokastik, maupun yang sangat tidak linier. Salah satu penggunaan algoritma genetika adalah untuk menentukan jumlah dan letak (alokasi) *sectionalizer* pada jaringan distribusi tenaga listrik. Setiap saluran diwakili oleh nilai bit 0 atau 1 yang dihasilkan oleh nilai individu dalam populasi algoritma genetika, dimana nilai biner 0 atau 1 itu menyatakan ada atau tidak *sectionalizer* pada saluran tersebut. Algoritma genetika digunakan untuk menyelesaikan permasalahan alokasi *sectionalizer* karena fungsi obyektif permasalahan ini biasanya bersifat sangat tidak linier.

2.8.2 Istilah-istilah dalam Algoritma Genetika

Ada beberapa istilah yang sering dipakai pada algoritma genetika, antara lain:

- Fungsi kecocokan (*fitness function*), adalah fungsi yang akan dioptimasi atau yang lebih dikenal sebagai fungsi obyektif.
- Individu, adalah titik (*point*) dimana fungsi kecocokan dapat diterapkan.

Nilai dari fungsi kecocokan untuk suatu individu adalah nilai individu (*score*). Sebagai contoh, jika fungsi kecocokannya adalah

$$f(x_1, x_2, x_3) = (2x_1 + 1)^2 + (3x_2 + 4)^2 + (x_3 - 2)^2$$

Maka vektor (2,-3,1) adalah individu, yang panjangnya adalah jumlah variabel pada fungsi obyektif. Nilai dari individu (2,-3,1) adalah $f(2,-$

3,1)=51. Suatu individu kadang juga disebut sebagai *genome* dan isi dari vektor penyusun individu disebut sebagai gen.

- Populasi dan Generasi

Populasi adalah kumpulan atau larik (*array*) dari individu-individu. Pada setiap iterasi, algoritma genetika melakukan serangkaian perhitungan pada populasi yang ada saat itu untuk menghasilkan populasi baru. Setiap populasi baru yang berurutan setelah populasi sebelumnya disebut generasi baru.

- Diversitas / keragaman

Diversitas mengacu pada jarak rata-rata antar individu dalam sebuah populasi. Jika sebuah populasi dikatakan memiliki diversitas yang tinggi berarti jarak rata-ratanya juga besar. Diversitas menjadi penting pada algoritma genetika karena memungkinkan algoritma genetika menjangkau daerah yang luas pada daerah pencarian (*search space*) dari solusi

- Nilai Kecocokan (*Fitness Value*) dan Nilai Kecocokan Terbaik (*Best Fitness Value*)

Nilai kecocokan dari suatu individu adalah nilai fungsi kecocokan untuk individu tersebut. Sedangkan nilai kecocokan terbaik adalah nilai kecocokan terkecil dari semua individu dalam populasi jika fungsi kecocokannya adalah masalah minimasi dan sebaliknya.

- Induk (*Parents*) dan Anak (*Children*)

Untuk menciptakan generasi selanjutnya, algoritma genetika memilih individu-individu tertentu dari populasi yang ada untuk menjadi induk / orang-tua kemudian menggunakannya untuk menciptakan individu-individu pada generasi selanjutnya yang disebut anak. Pada dasarnya algoritma genetika memilih induk yang memiliki nilai kecocokan terbaik.

2.8.3 Cara Kerja Algoritma Genetika

Cara kerja algoritma genetika dapat diringkas sebagai berikut:

- a. Algoritma dimulai dengan menciptakan populasi awal secara acak.
- b. Selanjutnya algoritma akan menciptakan sejumlah urutan populasi baru. Pada setiap langkah/iterasi, algoritma menggunakan individu-individu pada generasi yang ada saat itu untuk menciptakan populasi berikutnya. Untuk

menciptakan populasi berikutnya, algoritma melakukan langkah-langkah berikut:

- 1) Menilai setiap anggota populasi yang ada saat itu dengan menghitung nilai kecocokannya (*fitness value*)
 - 2) Menimbang nilai kecocokan mentah (*raw fitness scores*) dan mengubahnya menjadi daerah nilai yang lebih baik (*usable range value*)
 - 3) Memilih induk/orang-tua berdasarkan kecocokannya terhadap fungsi obyektif
 - 4) Beberapa individu pada populasi yang ada saat itu yang memiliki nilai kecocokan terbaik dipilid sebagai individu “elit”. Individu elit ini akan lolos pada populasi berikutnya
 - 5) Menghasilkan keturunan/anak dari orang -tua/induk. Keturunan diperoleh dengan cara mutasi, yaitu membuat perubahan secara acak pada individu tunggal atau dengan cara persilangan, yaitu menggabungkan gen-gen dari satu pasang orang-tua.
 - 6) Menggantikan populasi yang ada dengan keturunan/anak -anak untuk membentuk generasi berikutnya.
- c. Algoritma akan berhenti jika kriteria/persyaratan berhenti (*stopping criteria*) telah dicapai

2.8.4 Generasi Pada Algoritma Genetika

Pada setiap langkah iterasi, algoritma genetika menggunakan populasi yang ada untuk menciptakan keturunan/anak yang akan membentuk generasi selanjutnya. Algoritma akan memilih pasangan individu pada populasi yang ada se bagai orang-tua/induk, dimana gen-gen dari induk ini akan menjadi isian (*entries*) dari individu keturunan berikutnya.

Algoritma genetika menciptakan tiga jenis keturunan/anak bagi generasi berikutnya, yaitu:

- a. *Elite children*, yaitu individu pada generasi yang ada saat itu yang memiliki nilai kecocokan terbaik (*best fitness value*). Individu jensi ini secara otomatis akan lolos / bertahan pada generasi berikutnya
- b. *Crossover children*, yaitu individu yang dihasilkan dengan mengkombinasikan suatu pasangan induk/oran g-tua

c. *Mutation children*, yaitu individu yang dihasilkan dengan menerapkan perubahan secara acak / mutasi pada sebuah induk tunggal.

Jumlah *elite children* dalam suatu populasi ditentukan oleh nilai “*elite count*”, sedangkan jumlah *crossover children* dan *mutation children* ditentukan oleh nilai “*crossover fraction*”. Gambar 2.18 menunjukkan ilustrasi tentang *elite child*, *crossover child*, dan *mutation child* pada algoritma genetika.

