

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

ANDI SUPRIYADI (2017) melakukan penelitian tentang profil tegangan dan rugi-rugi daya serta energy tidak tersalurkan di PT. PLN (PERSERO) Rayon Panam. Dalam pembahasannya dibahas tentang besarnya profil tegangan dan rugi daya serta mengupayakan perbaikan profil tegangan dan rugi daya yang lebih kecil. Kesimpulan dari penelitian diatas adalah setelah dilakukan scenario perbaikan pemasangan kapasitor bank pada penyulang dan perbaikan penggantian luas penampang penghantar pada jaringan utama, profil tegangan di setiap bus mengalami kenaikan dan rugi-rugi daya berkurang baik daya aktif dan daya reaktif dari kondisi existing.

Doni Hardianto (2017) melakukan penelitian tentang keandalan sistem distribusi 20 kV di gardu induk kebun. Dalam pembahasannya dibahas tentang besar indek keandalan beberapa penyulang digardu induk batang menggunakan perhitungan SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan ASAI. Kesimpulan dari penelitian diatas adalah penyulang kebun 6 adalah nilai CAIDI yang dimiliki KBM6 selama 2 tahun terakhir memiliki nilai yang melebihi batas standar IEEE std 1366-2003, sehingga lamanya pemadamansetiap terjadinya gangguan di penyulanh KBM6 pada tahun 2015 dan 2016 diatas 1,47 jam/gangguan.

Nur Indah Arifani (2013) melakukan penelitian tentang keandalan sistem jaringan disttribusi udara 20 kV pada penyulang Pandean. Dalam pembahasannya dibahas tentang perhitungan nilai indeks keandalan berupa SAIDI, SAIFI, CAIFI, ASAI dan ASUI serta menganalisa hasil perhitungan nilai indeks berdasarkan hasil penyebab gangguan. Kesimpulan dari penelitian di atas adalah nilai SAIFI untuk kelima penyulang tersebut semuanya memenuhi standar nilai yang telah ditentukan oleh PT PLN yaitu 3 kali pertahun, dan dari perhitungan SAIDI ada satu pnyulang yang belum memenuhi standar nilai SAIDI.

Abrar Tanjung (2015) analisis sistem distribusi 20 kV untuk memperbaiki kinerja sistem distribusi. Dalam pembahasannya dibahas tentang memperbaiki dan meminimalkan rugi-rugi daya dan droptegangan dengan melakukan perubahan sistem distribusi dengan melakukan rekonfigurasi. Kesimpulan pada penelitian diatas adalah hasil pembahasan dengan menggunakan metode network rapshon dan program ETAP 6.00 diperoleh rekonfigurasi tegangan terima terbaik pada rekonfigurasi 3 sebesar 17,5, rugi daya aktif sebesar 1,84 MW dan rugi-rugi data reaktif 1,98 MVar, sehingga diperoleh penghematan rugi-rugi.

2.2 Pengertian Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik adalah pembagi energi listrik dari gardu induk tenaga listrik (*power station*) hingga samapai kepada konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan.

Jaringan distribusi terdiri atas dua bagian, yang pertama adalah jaringan menengah/primer (JTM) 20 kV dan yang kedua adalah jaringan tegangan rendah/sekunder (JTR) dengan tegangan 380/220 Volt, trafo distribusi terletak di antara JTM dan JTR yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Maka fungsi distribusi tenaga listrik adalah :

- a. membagikan tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan).
- b. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan (Suhadi, Tri Wrahatnoto, 2008).

2.3 Komponen Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi merupakan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar (gardu transmisi) dengan konsumen tenaga listrik yang memiliki beberapa bagian utama dan komponen penunjang. Secara umum yang termasuk dalam komponen utama sistem distribusi antara lain :

- a. Gardu Induk**

Gardu Induk merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari saluran transmisi dan distribusi listrik. Dimana pada suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat yang bagianya berisi saluran transmisi dan distribusi. serta perlengkapan hubung bagi, transformator, dan peralatan pengaman dan peralatan kontrol. Fungsi utama dari gardu induk :

- 1) Untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainya yang kemudian di distribusikan ke konsumen.
- 2) Sebagai tempat kontrol.
- 3) Sebagai pengaman operasi sistem.
- 4) Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribus.

b. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan awal pembagian 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 membagikan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV.

c. Gardu Pembagi / Gardu Distribusi

Berfungsi merubah tegangan listrik dari jaringan distribusi primer menjadi tegangan terpakai yang digunakan untuk konsumen dan disebut sebagai jaringan distribusi sekunder. Kapasitas transformator yang digunakan pada Gardu Pembagi ini tergantung pada jumlah beban yang akan dilayani dan luas daerah pelayanan beban. Bisa berupa transformator satu fasa dan bisa juga berupa transformator tiga fasa.

d. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR) merupakan jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan konsumen. Oleh karena itu besarnya tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini 130/130 V dan 130/400 V untuk sistem lama, atau

230/400 V untuk sistem baru. Tegangan 130V dan 230 V merupakan tegangan antara fasa dengan netral, sedangkan tegangan 400 V merupakan tegangan fasa dengan fasa (Agung Hari Setiawan, 2014).

2.4 Persyaratan Sistem Distribusi

Dalam usaha meningkatkan kualitas, keterandalan, dan pelayanan tenaga listrik kekonsumen, maka diperlukan persyaratan sistem distribusi tenaga listrik yang memenuhi alasan-alasan teknis, ekonomis, dan sosial sehingga dapat memenuhi standart kualitas dari sistem pendistribusian tenaga listrik tersebut.

Adapaun syarat-syarat sistem distribusi tenaga listrik tersebut adalah:

2.4.1 Faktor Keterandalan Sistem

- a. kontinuitas penyaluran tenaga listrik kekonsumen harus terjamin selama 24 jam terus-menerus. persyaratan ini cukup berat, selain harus tersedianya tenaga listrik pada pusat Pembangkit Tenaga Listrik dengan jumlah yang cukup besar, juga kualitas sistem distribusi tenaga listrik harus dapat diandalkan.
- b. Setiap gangguan yang terjadi dengan mudah dilacak dan diisolir sehingga pemadaman tidak perlu terjadi. Untuk itu diperlukan alat pengaman dan alat pemutus tegangan (*air break switch*) pada setiap wilayah beban.
- c. Sistem proteksi dan pengaman jaringan harus tetap dapat bekerja dengan baik dan cepat.

2.4.2 Faktor Kualitas sistem

- a. Kualitas tegangan listrik yang sampai ke titik beban harus memenuhi persyaratan minimal untuk setiap kondisi dan sifat-sifat beban. oleh karena itu diperlukan stabilitas tegangan (*voltage regulator*) yang kerja secara otomatis untuk menjamin kualitas tegangan sampai ke konsumen stabil.

- b. Tegangan jatuh atau tegangan drop dibatasi pada harga 10% dari tegangan nominal sistem untuk setiap wilayah beban. Untuk itu untuk daerah beban yang selalu padat diberikan beberapa *voltage regulator* untuk menstabilkan tegangan.
- c. Kualitas peralatan listrik yang terpasang pada jaringan dapat menahan tagangan lebih (*over voltage*) dalam waktu singkat.

2.4.3 Faktor Keselamatan Sistem dan Publik

- a. Keselamatan penduduk dengan adanya jaringan tenaga listrik harus terjamin dengan baik. Artinya, untuk daerah padat penduduknya diperlukan rambu-rambu pengaman dan peringatan agar penduduk dapat mengetahui bahaya listrik. Selain itu di daerah yang sering terjadi gangguan perlu dipasang alat pengaman untuk dapat meredam gangguan tersebut secara cepat dan terpadu.
- b. keselamatan alat dan perlengkapan jaringan yang dipakai hendaknya memiliki kualitas yang baik dan dapat meredam secara cepat bila terjadi gangguan pada sistem jaringan. Untuk itu diperlukan jadwal pengontrolan alat dan perlengkapan jaringan secara terjadwal dengan baik dan berkesinambungan.

2.4.4 Faktor Pemeliharaan Sistem

- a. Kontinuitas pemeliharaan sistem perlu dijadwalkan secara berkesinambungan sesuai dengan perencanaan awal yang telah ditetapkan, agar kualitas sistem tetap terjaga dengan baik.
- b. pengadaan material listrik yang dibutuhkan hendaknya sesuai dengan jenis/spesifikasi material yang dipakai, sehingga bisa dihasilkan kualitas yang lebih baik dan murah.

2.4.5 Faktor Perencanaan Sistem

Perencanaan jaringan distribusi harus dirancang semaksimal mungkin, untuk perkembangan dikemudian hari (Daman Suswanto, 2009).

2.5 Tegangan Distribusi

Tegangan untuk jaringan distribusi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain :

2.5.1 Tegangan Menengah (TM)

Tegangan menengah adalah tegangan dengan rentang nilai 1 kV sampai dengan 30 kV. Untuk di Indonesia menggunakan tegangan menengah sebesar 20 kV. Tegangan menengah dipakai untuk penyaluran tenaga listrik dari GI menuju gardu-gardu distribusi atau langsung menuju pelanggan tegangan menengah.

2.5.2 Tegangan Rendah (TR)

Tegangan rendah adalah tegangan dengan nilai dibawah 1 kV yang digunakan untuk penyaluran daya dari gardu-gardu distribusi menuju pelanggan tegangan rendah. Penyaluran dilakukan dengan menggunakan sistem tiga fasa empat kawat yang dilengkapi netral. Di Indonesia menggunakan tegangan rendah 380/220 V. Dengan 380 V merupakan besar tegangan antar fasa dan tegangan 220 V merupakan tegangan fasa – netral.

2.5.3 Tegangan Pelayanan

Tegangan pelayanan merupakan ketetapan dari penyedia tenaga listrik untuk pelanggan-pelanggannya. Di Indonesia besarnya tegangan pelayanan pada umumnya antara lain :

- a. 380/220 V tiga fasa empat kawat
- b. 220 V satu fasa dua kawat

- c. 6 kV tiga fasa tiga kawat
- d. 12 kV tiga fasa tiga kawat
- e. 20 kV tiga fasa tiga kawat

2.6 Jenis Gangguan Pada Jaringan Distribusi

Jika dilihat dari sifat dan penyebab terjadinya gangguan , jenis gangguan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

2.6.1 Tegangan Lebih (*Over Voltage*)

Tegangan lebih (*Over Voltage*) merupakan suatu gangguan akibat tegangan berlebih pada sistem tenaga listrik lebih besar dari seharusnya, gangguan tegangan tinggi dipengaruhi oleh harmonisa dan frekuensi. Gangguan tegangan lebih sering terjadi karena kondisi *external* dan *internal* pada sistem berikut ini :

a. Kondisi *internal*.

Hal ini terjadi karena isolasi akibat adanya perubahan yang mendadak dari kondisi rangkaian atau karena resonansi. Misalnya operasi hubung pada saluran tanpa beban, perubahan beban yang secara tiba-tiba , operasi pelepas pemutus tenaga yang mendadak akibat hubungan singkat pada jaringan, kegagalan isolasi, dan lain sebagainya.

b. Kondisi *external*.

Kondisi *external* utanya terjadi akibat adanya sambaran petir. Petir terjadi terjadi oleh terkumpulnya muatan listrik, yang mengakibatkan bertemunya muatan positif dan muatan negatif. Pertemuan ini mengakibatkan terjadinya beda tegangan antara awan bermuatan positif dengan muatan negatif, atau awan bermuatan positif atau negatif dengan tanah. Bila beda tegangan ini cukup tinggi maka akan terjadi loncatan muatan listrik dari awan ke awan atau dari awan ke tanah.

2.6.2 Hubung Singkat.

Hubung singkat adalah terhubungnya dua terminal yang bertegangan melalui hambatan yang sangat kecil, sehingga menimbulkan arus yang sangat besar. Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sangat sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran udara 3 fasa. Meskipun semua komponen peralatan listrik selalu di isolasi dengan isolasi. Tapi karena usia pakai, tekanan mekanis, keausan, dan beberapa penyebab yang lainnya mengakibatkan isolasi pada peralatan bisa mengalami penurunan fungsi atau bisa saja hilang, hal inilah yang mudah menimbulkan terjadinya hubung singkat.

$$I = \frac{V}{R}$$

Dimana:

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

R = Hambatan (Ohm)

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada isolasi biasanya menimbulkan busur api sehingga akan mengakibatkan kerusakan yang bersifat tetap dan gangguan ini biasa di sebut dengan gangguan *permanent* (tetap). Busur api diakibatkan dengan nilai R yang semakin kecil/mendekati nol, sehingga arus akan semakin besar dan mengakibatkan panas. Pada saluran tegangan menengah atau tinggi pada isolasi sering terjadi busur api dan setelah gangguan tersebut tidak terjadi kerusakan maka gangguan tersebut di sebut sebagai gangguan sementara (*temporer*). Hubung singkat sangat berbahaya karena bisa menimbulkan arus yang sangat besar sehingga membahayakan peralatan. oleh karena itu untuk menghindari kerusakan peralatan dari gangguan arus hubung singkat maka hubungan kelistrikan yang berpotensi

terganggu perlu di amankan dengan menggunakan peralatan pemutus tenaga atau yang lebih sering di kena dengan *circuit breaker* (CB).

Gangguan hubung singkat biasanya sering terjadi pada sistem tenaga listrik, di antaranya sebagai berikut (Yosef hangga, 2013) :

1. Hubung singkat kabel fasa dengan tanah, di akibatkan oleh adanya pohon tumbang. Sehingga arus akan langsung mengalir melewati R pohon menuju ke tanah.
2. Hubung singkat dua kabel fasa dengan tanah, biasanya terjadi karna pohon yang sangat tinggi mengenai kedua kabel fasa.
3. Hubung singkat tiga kabel fasa, biasanya terjadi karna rusaknya isolasi pada kabel distribusi.

2.6.3 Over Load (Beban lebih)

Gangguan beban lebih ialah gangguan yang di sebabkan akibat pemakaian energy listrik yang berlebihan yang melampaui jumlah energy yang di hasilkan pada pembangkit. Gangguan beban lebih ini biasanya terjadi pada generator pembangkit dan trafo daya. Biasanya beban lebih memiliki ciri terjadinya arus berlebih pada komponen, arus yang berlebih dapat menimbulkan pemanasan yang berlebih juga yang mengakibatkan kerusakan pada komponen isolasi. Pada pembagian energy listrik menggunakan trafo distribusi sekunder, pemutusan pembagian listrik pada konsumen akan di putuskan melalui relay beban lebih jika pemakaian listrik pada konsumen melampaui dari kapasitas trafo tersebut.

- **Faktor Penyebab Gagguan**

Listrik merupakan suatu sistem yang banyak melibatkan komponen dan sangat kompleks. Oleh karena itu, terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain yaitu :

- a) **Faktor Manusia**

Faktor manusia menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya saja salah melakukan penyambungan rangkaian, salah dalam melakukan pengkalibrasian suatu piranti pengaman.

b) Faktor *Internal*

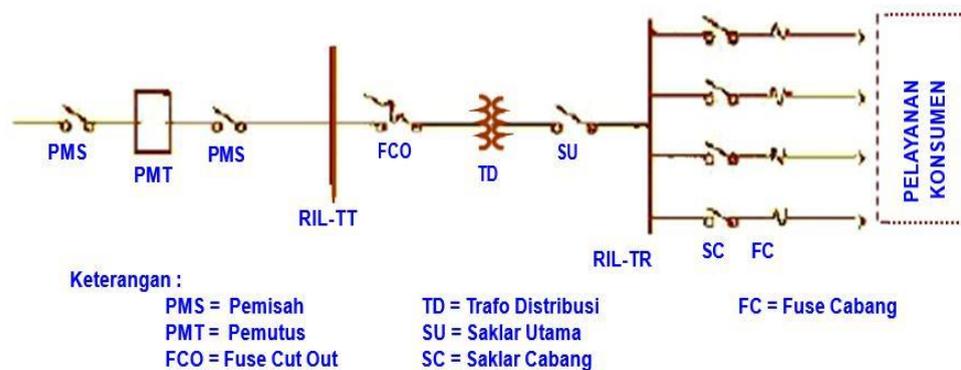
Faktor *internal* ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari dalam sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai (ketuaan), keausan, dan lain sebagainya. Hal ini bisa mengurangi sensitivitas relay pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

c) Faktor *External*

Faktor *external* ini meliputi gangguan –gangguan yang berasal dari luar atau lingkungan di sekitar sistem. Misalnya keadaan cuaca, gempa bumi, pohon tumbang, serta sambaran petir.

2.7 Sistem Proteksi Jaringan Distribusi

(menurut Agung Hari Setiawan, 2014) Dalam pembagian energi listrik yang sangat jauh dari pembangkit tenaga listrik terdapat jaringan transmisi dan distribusi yang rentan akan terkena gangguan yang bersifat permanen atau sementara. Jaringan distribusi merupakan jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan energy listrik dari gardu induk ke gardu induk lain maupun dari gardu induk ke pelanggan/beban. Jaringan distribusi terdiri dari transformator distribusi, kawat jaringan, serta memiliki proteksi-proteksi.



Gambar 2.1 sistem proteksi dan komponen pada saluran distribusi sekunder

Ada tiga fungsi proteksi, yaitu untuk :

1. Mendeteksi adanya gangguan (kondisi abnormal) pada sistem tenaga listrik yang diamankan, sehingga tidak menimbulkan kerusakan.
2. Melepaskan atau memisahkan (mengisolasi) bagian yang terganggu sehingga tidak meluaske bagian sistem yang tidak terganggu dan bagian sistem lainya dapat terus beroperasi (Suhadi, Tri Wrahatnoto, 2008).

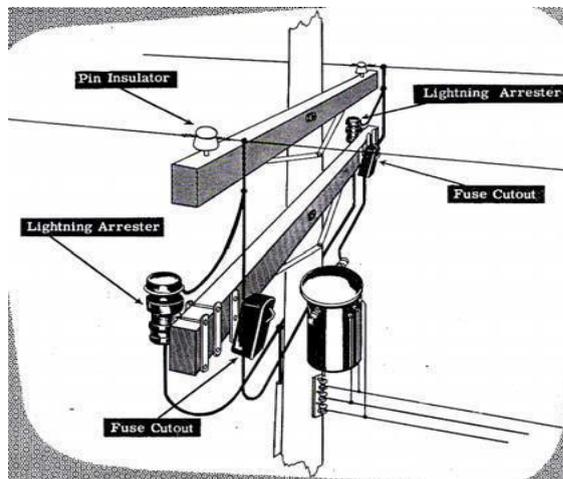
Proteksi yang baik harus mampu :

1. Melakukan koordinasi dengan sistem TT (GI/Transmisi/Pembangkit).
2. Mengamankan peralatan dari kerusakan dan gangguan.
3. Membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaan.
4. Membatasi daerah yang mengalami pemadaman.
5. Mengurangi frekuensi pemutusan tetap (permanen) karena gangguan.

Di samping itu, setiap proteksi atau alat pengaman harus mempunyai kepekaan, kecermatan dan kecepatan bereaksi yang baik. Pada dasarnya semua sistem proteksi berfungsi sebagai pelindung dan pengaman dari gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem distribusi. contoh gangguan: Sambaran Petir, Arus lebih, *Over Load*, dll. untuk itulah dibutuhkan sistem proteksi yang handal untuk meminimalisirkan gangguan yang terjadi, Sistem proteksi yang terdapat pada jaringan distribusi antara lain :

2.7.1 Fuse Cut Out (FCO)

Fuse Cut Out adalah suatu alat pengaman yang melindungi jaringan terhadap arus beban lebih (*over load current*) yang mengalir melebihi dari batas maksimum, yang disebabkan karena hubung singkat (*short circuit*) atau beban lebih (*over load*). *Fuse cut out* ini hanya dapat memutuskan satu saluran kawat jaringan di dalam satu alat. Apabila diperlukan pemutus saluran tiga fasa maka dibutuhkan fuse cut out sebanyak tiga buah.



Gambar 2.2 penempatan FCO pada tiang penyangga

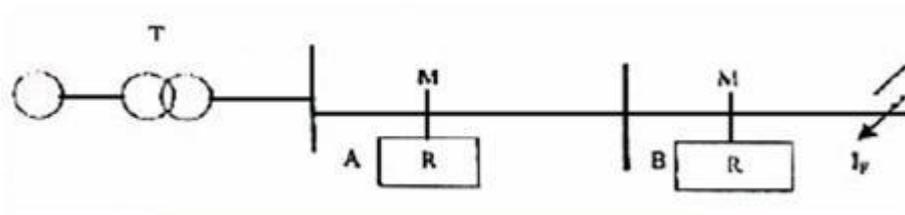
2.7.2 Relay

Relay merupakan alat yang bekerja secara otomatis untuk mengamankan suatu peralatan listrik saat terjadi gangguan, menghindari atau mengurangi terjadinya kerusakan peralatan akibat gangguan. Relai yang digunakan pada jaringan distribusi, yaitu :

- 1) Relai gangguan tanah, (*Ground Fault Relay*) relay ini digunakan untuk mendeteksi arus gangguan satu fasa ke tanah yang terjadi pada sisi hilir dari gardu induk. Besar nilai arus gangguan tanah tergantung pada cara pentanahan titik netral dan hubungan trafo yang dipakai. Pengaturan relay gangguan tanah tidak tergantung pada arus beban maksimum. Factor-faktor yang menjadi pembatas penentuan pengaturan relay gangguan tanah adalah ketidak seimbangan beban,

arus kapasitif pada sistem, dan ketelitian trafo arus terhadap *burden* (daya semu dalam VA) yang terhubung pada sekundernya

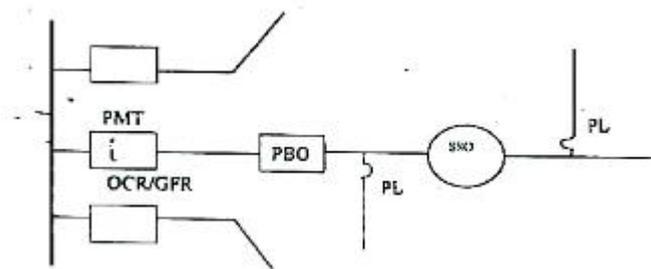
- 2) Relai penutup balik ini berguna untuk memulihkan sistem dari gangguan-gangguan yang bersifat sementara. Relay ini bekerja dengan cara menutup kembali pemutus daya yang dibuka oleh relay arus lebih atau relay gangguan tanah.
- 3) Relai arus lebih (*Over Current Relay*), relay ini akan bekerja ketika relay mendeteksi adanya arus di atas arus normal yang mengalir dalam rentang waktu tertentu dimana rentang waktu tersebut tidak bergantung dengan besarnya arus. Batas relay mulai bekerja dapat diatur oleh pengguna sesuai kebutuhan (Angki Putra,)



Gambar 2.3 penempatan Relay pada jaringan radial

2.7.3 PBO (Pemutus Balik Otomatis)

PBO Pemutus balik otomatis (*automatic circuit recloser*) adalah alat berwadah sendiri yang berisi sarana yang diperlukan untuk mengindera arus lebih, mengatur waktu, memutus arus lebih, dan menutup balik secara otomatis. Digunakan sebagai pelengkap untuk pengamanan terhadap gangguan temporer dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan. PBO akan memisahkan daerah gangguan sesaat sampai gangguan tersebut akan dianggap hilang, dengan demikian *recloser* akan masuk kembali sesuai setingannya sehingga jaringan akan aktif kembali secara otomatis.

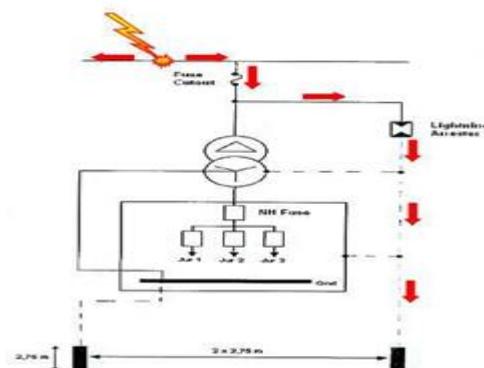


Gambar 2.4 koordinasi PBO

2.7.4 Arrester

Arrester atau *Lightning Arrester* adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja atau petir dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Sesuai dengan fungsinya itu maka *arrester* harus dapat menahan tegangan sistem pada frekuensi 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewati arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan pada *arrester* itu sendiri.

Pada prinsipnya *arrester* membentuk jalan yang mudah dilalui oleh petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Pada kondisi normal *arrester* berlaku sebagai isolasi tetapi bila timbul surja *arrester* berlaku sebagai konduktor yang berfungsi melewati aliran arus yang tinggi ke tanah. Setelah arus hilang, *arrester* harus dengan cepat kembali menjadi isolator.



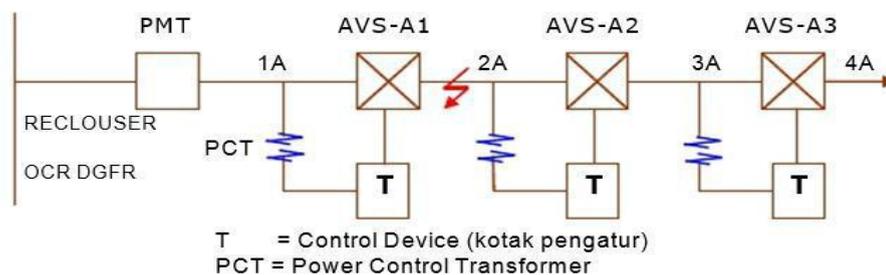
Gambar 2.5 skema sambaran petir yang dialihkan arrester ke tanah

2.7.5 SSO (Saklar Seksi Otomatis)

SSO (Saklar Seksi Otomatis) atau *Auto Seksionalizer* adalah sebuah peralatan pemutus yang secara otomatis membebaskan seksi-seksi yang terganggu dari suatu sistem distribusi, tapi tidak memutus arus gangguan, karena biasanya dipakai dalam hubungannya dengan penutup balik otomatis (PBO).

SSO akan bekerja (membuka saluran) dalam selang waktu tertentu setelah PBO mendeteksi ada gangguan dan membuka saluran. Pembukaan SSO dapat merupakan fungsi waktu pembukaan PBO (pengaturan waktu) dan dapat juga merupakan fungsi jumlah pembukaan PBO.

SSO dengan pengaturan waktu harus mampu masuk sistem dalam keadaan masih ada gangguan pada jaringan karena ada kalanya SSO harus menutup ketika gangguan belum hilang. SSO jenis ini dilengkapi dengan relay waktu (Angki Putra,)



Gambar 2.6 koordinasi SSO tipe AVS sebagai pengamanan pada jaringan radial

2.8 Kinerja Jaringan Distribusi

Kinerja sistem distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi beberapa macam, diantaranya :

2.8.1 Profil Tegangan

Profil tegangan erat kaitannya dengan jatuh tegangan, jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan

panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan dalam persen atau volt.

Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh V pada penghantar semakin besar jika arus (I) di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar (R) semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban (modalholog, 2012)

Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan PLN, perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung diterima 10%. Tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). jatuh tegangan phasor V_d pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) dapat di jabarkan dengan rumus :

$$V_d = I \cdot Z$$

Dalam hal ini yang dimaksud dengan jatuh tegangan (ΔV) adalah selisih antara tegangan kirim (V_K) dengan tegangan terima (V_T), maka jatuh tegangan dapat di definisikan dengan :

$$\Delta V = (V_K) - (V_T)$$

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga tegangan jatuh (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik. Tegangan jatuh relatif dinamakan regulasi tegangan VR (*voltage regulation*) dan dinyatakan dengan rumus :

$$V_R = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

Dimana :

V_s = tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = tegangan pada ujung penerimaan

2.8.2 Rugi – Rugi Pada Jaringan Distribusi

(Menurut Andi Supriyanto, 2017) Pemilihan jenis kabel yang akan digunakan pada jaringan distribusi merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan dari suatu sistem tenaga listrik. Jenis kabel dengan nilai resistansi yang kecil akan dapat memperkecil rugi-rugi daya. Besarnya rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_{Losses1\phi} = I_P^2 \times R \times l$$

Berikut untuk menghitung rugi-rugi daya 3 fasa dinyatakan dengan persamaan :

$$P_{Losses3\phi} = 3 \times I_P^2 \times R \times l$$

Dimana untuk mencari $I_P = \frac{P_R}{V_r 1\phi \times P_f}$

Keterangan :

$P_{Losses1\phi}$ = rugi daya 1 fasa (watt)

$P_{Losses3\phi}$ = rugi daya 3 fasa (watt)

P_R = daya yang diterima perfase (watt)

$V_r 1\phi$ = tegangan terima perfase (Volt)

I_P = arus perfase (Amper)

R = tahanan saluran (Ohm/Km)

l = panjang saluran (Km)

Pf = factor daya (watt)

Berikut merupakan rumus factor daya:

Factor daya = daya aktif (p) / daya semu (s)

$$= \frac{kW}{kVA}$$

$$= \frac{V.I \cos\varphi}{V.I}$$

$$= \cos\varphi$$

Dimana : P = daya aktif

S = daya semu

$\cos\varphi$ = factor daya

Untuk mencari daya aktif :

$$P = \sqrt{3} \times V_L \times I_p \times \cos\varphi$$

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_p$$

Dimana : V_p = tegangan antar fase

I_p = arus per fase

$\cos\varphi$ = factor daya

untuk mencari daya reaktif :

$$Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_p \times \sin\varphi$$

$\sin\varphi$ = factor daya reaktif

untuk mencari daya semu :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

S = daya semu

P = daya aktif

Q = daya reaktif

Jika mengetahui 2 dari ketiga daya, maka dapat menghitung dengan persamaan berikut :

Daya Aktif	Daya Reaktif	Daya Semu
$P^2 = S^2 - Q^2$	$Q^2 = S^2 - P^2$	$S^2 = P^2 + Q^2$
$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Dimana : P = daya aktif

Q = daya reaktif

S = daya semu

Nilai resistansi dari suatu penghantar merupakan penyebab utama rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi..

2.8.3 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan sistem distribusi merupakan tingkat keberhasilan kinerja sebuah sistem atau bagian dari sistem, untuk dapat memberikan hasil yang lebih baik pada waktu dan kondisi tertentu. Untuk dapat menentukan tingkat keandalan dari sebuah sistem, perlu dilakukan kajian berupa perhitungan dan analisis terhadap tingkat keberhasilan pada sistem yang ditinjau pada periode tertentu, untuk kemudian di bandingkan dengan standar yang sudah ditetapkan sebelumnya (Listrik Bali, 2017).

Ukuran keandalan dapat diketahui dari seberapa sering sistem mengalami pemutusan beban, berapa lama pemutusan terjadi dan berapa cepat waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan kondisi dari pemutusan yang terjadi (*restoration*). Sistem yang mempunyai keandalan tinggi akan

mampu memberikan tenaga listrik setiap saat dibutuhkan, sedangkan sistem mempunyai keandalan rendah bila tingkat ketersediaan tenaganya rendah yaitu sering padam.

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. Secara ideal tingkat keandalan kontinuitas penyaluran dibagi atas 5 tingkat :

Tingkat - 1 : Pemadaman dalam orde beberapa jam. Umumnya terjadi pada sistem saluran udara dengan konfigurasi radial.

Tingkat - 2 : Pemadaman dalam orde kurang dari 1 jam. Mengisolasi penyebab gangguan dan pemulihan penyaluran kurang dari 1 jam. Umumnya pada sistem dengan pasokan penyulang cadangan atau sistem loop.

Tingkat - 3 : Pemadaman dalam orde beberapa menit. Umumnya pada sistem yang mempunyai sistem SCADA.

Tingkat - 4 : Pemadaman dalam orde detik. Umumnya pada sistem dengan fasilitas automatic switching pada sistem fork.

Tingkat - 5 : Sistem tanpa pemadaman. Keadaan dimana selalu ada pasokan tenaga listrik, misalnya pada sistem spotload, transformator yang bekerja parallel (PLN, 2010)

Untuk mengevaluasi keandalan jaringan distribusi digunakan teknis analisis menggunakan rumus matematik, yaitu indeks keandalan dasar digunakan laju kegagalan λ (kegagalan/tahun), rata-rata waktu keluar (*outage*) r (jam/gagalan) dan rata-rata ketidak tersedian tahunan U (jam/tahun), sedangkan indeks berbasis sistem diantaranya adalah SAIFI dan SAIDI..

Keandalan dari pelayanan konsumen dapat dinyatakan dalam beberapa indeks yang biasanya digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu sistem indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks telah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan jaringan sistem distribusi. Adapun indeks tersebut, diantaranya :

a) SAIFI (*System Average Interruption*)

SAIFI adalah salah satu indeks keandalan dimana perhitungannya adalah perkalian frekuensi padam sebuah penyulang dengan jumlah pelanggan yang mengalami gangguan pemadaman dibagi dengan jumlah pelanggan secara keseluruhan. SAIFI menyatakan berapa kali terjadi pemadaman baik dalam hitungan hari, bulan maupun tahun. Satuan dari perhitungan indeks SAIFI adalah pemadaman per pelanggan. Perhitungan pemadaman dapat dilakukan dalam jangka waktu tertentu, baik hari, bulan, maupun tahun. Secara matematis indeks SAIFI dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{SAIFI} = \frac{\lambda_i \times N_i}{N_t}$$

Keterangan :

λ = Angka kegagalan rata-rata / frekuensi padam.

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

N_t = Jumlah konsumen yang dilayani.

b) SAIDI (*System Average Duration Index*)

SAIDI adalah indeks keandalan yang merupakan perkalian dari lamanya suatu sistem dalam hitungan jam dengan banyaknya pelanggan yang mengalami pemadaman dibagi dengan jumlah pelanggan keseluruhan. SAIDI juga bisa dikatakan sebagai indeks lamanya waktu saat terjadi pemadaman. Satuan perhitungan SAIFI adalah jam/pelanggan.

Dengan indeks ini, gambaran mengenai lama pemadaman rata-rata yang diakibatkan oleh gangguan pada bagian-bagian dari sistem dapat dievaluasi secara matematis, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{U_i \times N_i}{N_t}$$

Dimana:

U_i = Durasi gangguan.

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban.

N_t = Jumlah konsumen yang dilayani.

c) CAIDI (*Customer Average Duration Index*)

CAIDI merupakan salah satu indeks keandalan yang berisi tentang lamanya waktu(durasi) setiap terjadi pemadaman. Lamanya durasi ini bisa dalam hari, bulan ataupun tahun. Indeks ini dirumuskan dengan :

$$CAIDI = \frac{\text{Jumlah durasi gangguan pelanggan}}{\text{Jumlah interupsi pelanggan}} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \lambda_i}$$

Dimana :

U_i = Durasi gangguan

N_i = Jumlah konsumen yang terganggu pada beban i

λ_i = Angka kegagalan rata-rata/frekuensi padam

indeks ini juga samadengan perbandingan antara SAIDI dan SAIFI, yaitu

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

Besarnya nilai CAIDI ini dapat digambarkan sebagai besar durasi pemadaman (r) sistem distribusi keseluruhan ditinjau dari sisi pelanggan. Indeks keandalan merupakan suatu indikator kendalan yang

dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks telah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan jaringan sistem distribusi.

d) ASAI (*Average System Availability Index*)

ASAI merupakan suatu indeks yang menyatakan kemampuan suatu sistem untuk menyediakan/menyuplay suatu sistem dalam jangka waktu satu tahun.

Berikut ini adalah rumus persamaan untuk menghitung indeks keandalan ASAI :

$$ASAI = \frac{\sum Ni \times 8760 - \sum Ui Ni}{\sum Ni \times 8760}$$

ASAI dapat juga dihitung dengan persamaan :

$$ASAI = \frac{8760 - SAIDI}{8760}$$

Keterangan :

8760 adalah jumlah jam dalam satu tahun.

2.8.3.1 Standar Nilai Indeks keandalan

a) Standar nilai indeks keandalan SPLN 68 - 2 : 1986

Berikut adalah tabel yang menunjukkan standar nilai keandalan pada SPLN

Table 2.1 standart nilai indek keandalan SPLN 68 – 2 : 1986

INDEKS KEANDALAN	STANDAR NILAI	SATUAN
SAIFI	3.2	Kali/Pelanggan/Tahun
SAIDI	21.09	Jam/Pelanggan/Tahun

b) Standar Nilai Indeks keandalan IEEE Std 1366 – 2003

Berikut adalah tabel yang menunjukkan standar nilai indeks keandalan IEEE Std 1366 – 2003.

Tabel 2.2 standar nilai indeks keandalan IEEE Std 1366 – 2003

INDEKS KEANDALAN	STANDAR NILAI	SATUAN
SAIFI	1.45	Kali/Pelanggan/tahun
SAIDI	2.30	Jam/Pelanggan/tahun
CAIDI	1.49	Jam/gangguan
ASAI	99.92	Persen

