

BAB II

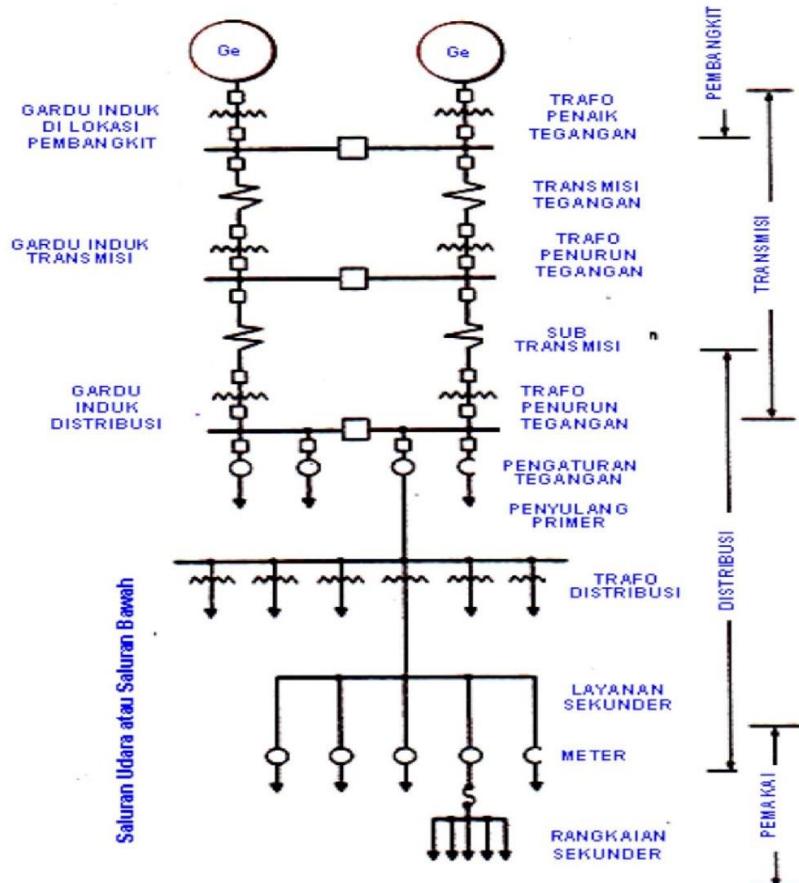
JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.1.1 Sistem Jaringan Distribusi 20 KV

Sistem tenaga listrik terdiri atas bagian utama yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Dari ketiga sistem tersebut, sistem distribusi merupakan bagian yang letaknya paling dekat dengan konsumen, fungsinya adalah menyalurkan energi listrik dari suatu gardu induk distribusi ke konsumen. Adapun bagian-bagian dari sistem distribusi tenaga listrik adalah :

- a. Gardu induk distribusi
- b. Jaringan primer (JTM)
- c. Transformasi distribusi
- d. Jaringan sekunder (JTR)



Gambar 2.1 pengelompokan sistem tenaga listrik

2.1.2 Susunan Rangkaian Sistem Distribusi Primer .

Rangkaian jaringan sistem distribusi primer,yaitu :

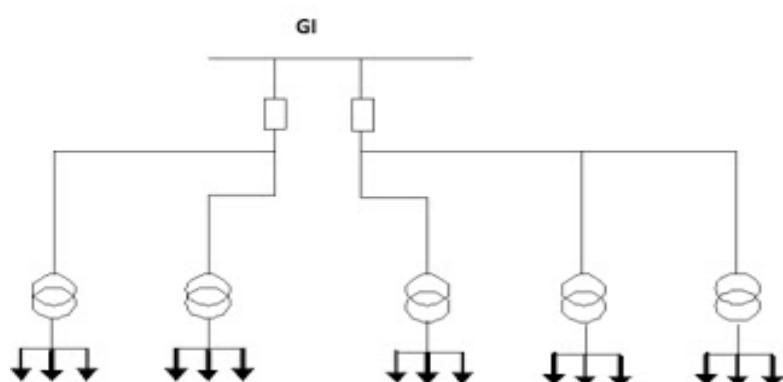
1. Jaringan distribusi radial jaringan distribusi ring (loop), dengan model : bentuk open loop dan bentuk close loop.
2. Jaringan distribusi jaring-jaring (NET)
3. Jaringan distribusi spindle

2.1.2.1 Jaringan Distribusi Radial

Bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran (*line*), tidak ada *alternative* saluran lainnya. Bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. 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.

Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

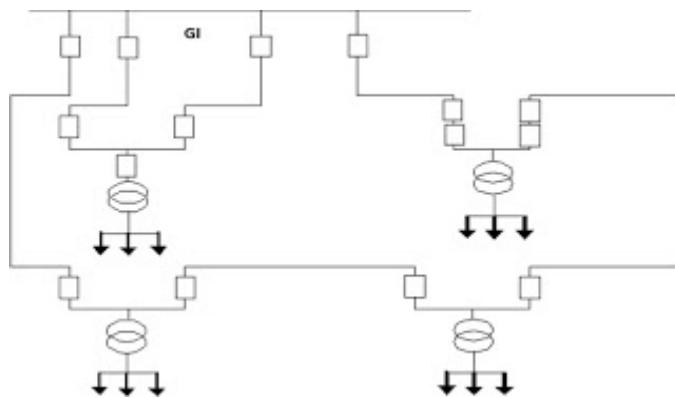
- a. Bentuknya sederhana
- b. Biaya investasinya relatif murah.
- c. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- d. Kontinyuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami “*black out*” secara total.



Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial

2.1.2.2 Jaringan distribusi ring (loop)

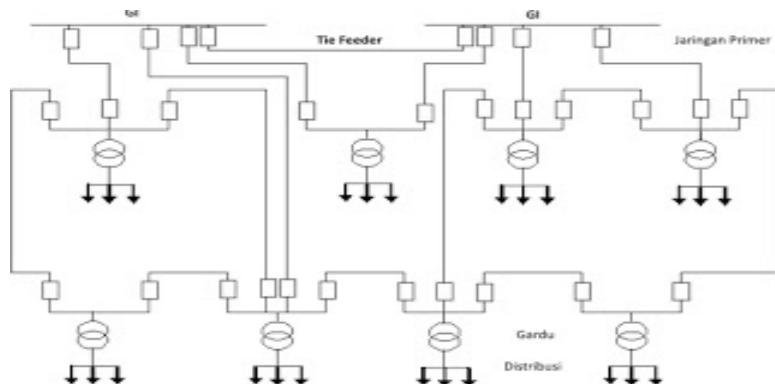
Bila pada titik beban terdapat dua alternatif saluran berasal lebih dari satu sumber. Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan "loop". Susunan rangkaian penyulang membentuk ring, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinyuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 2.3 jaringan distribusi ring (loop)

2.1.2.3 Jaringan Distribusi Pola Grid

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut *tie feeder*. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain.



Gambar 2.4 jaringan distribusi Pola Grid

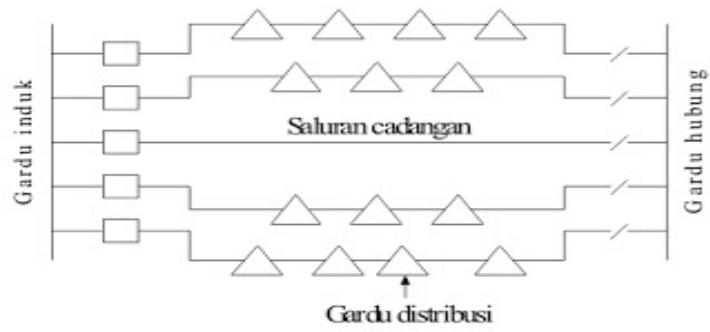
Keuntungan dari jenis ini adalah :

- a. Kontinyuitas pelayanan lebih baik dari pola radial atau loop.
- b. Fleksibel dalam menghadapi perkembangan beban.
- c. Sesuai untuk daerah dengan kerapatan beban tinggi.

Adapun kerugiannya terletak pada sistem proteksi yang rumit, mahal dan investasi juga mahal.

2.1.2.4 Jaringan Distribusi Spindle

Selain bentuk-bentuk dasar dari jaringan distribusi yang telah ada, maka dikembangkan pula bentuk-bentuk modifikasi, yang bertujuan



Gambar 2.5 jaringan distribusi spindle

meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Salah satu bentuk modifikasi yang popular adalah bentuk spindle, yang biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban.

Fungsi “express feeder” dalam hal ini selain sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu “working feeder”, juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya drop tegangan pada sistem distribusi bersangkutan pada keadaan operasi normal. Dalam keadaan normal memang “express feeder” ini sengaja dioperasikan tanpa beban.

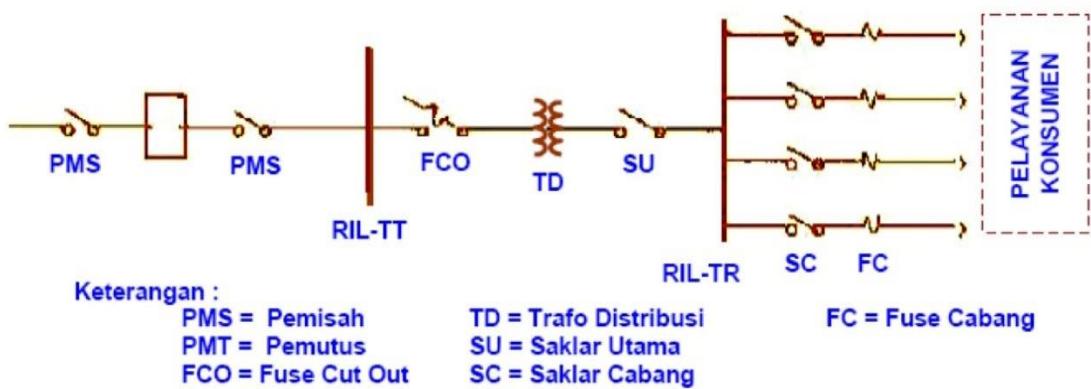
2.1.3 Rangkaian Jaringan Sistim Distribusi Sekunder

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 sebagai berikut :

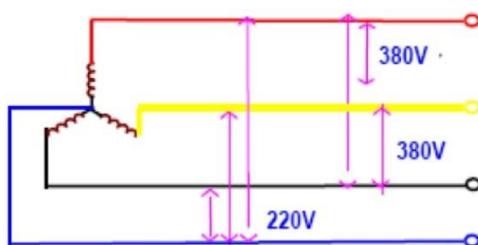
1. Papan pembagi pada trafo distribusi
2. Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder)
3. Saluran layanan pelanggan (SLP) ke konsumen/pemakai
4. Alat pembatas dan pengukur daya (KWH, meter) serta fuse atau pengaman pada pelangan.

Komponen saluran distribusi sekunder seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.6 komponen saluran distribusi sekunder

Tegangan yang digunakan pada sistem distribusi sekunder menggunakan standard IEC (*International Electrotechnical Comission*), Indonesia memakai sistem tegangan 220/380 Volt.



Gambar 2.7 tegangan sistem distribusi sekunder

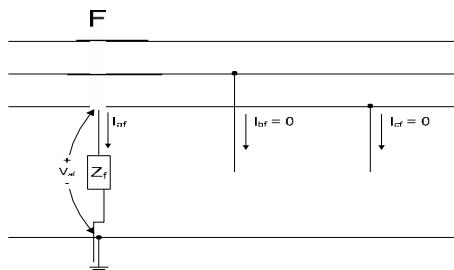
2.1.4 Gangguan Sistem Distribusi

Jenis gangguan hubung singkat yang sering terjadi :

- Hubung singkat satu fasa ke tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang sering terjadi karena *flashover* antara penghantar fasa dan tanah (tiang travers atau kawat tanah pada SUTM). Gangguan ini bersifat temporer, tidak ada kerusakan yang permanen di titik gangguan. Pada gangguan yang tembusnya (*breakdown*) adalah isolasi udaranya, oleh karena itu tidak ada kerusakan permanen. Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya circuit breaker oleh relay pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Jika terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguannya hampir selalu lebih kecil daripada arus hubung singkat tiga fasa. Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah:

$$I_{1\phi - \text{tanah}} = 3 \cdot E / (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f) \dots \dots \dots (2.1)$$

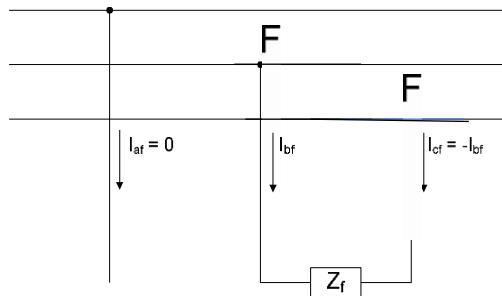


Gambar 2.8 gangguan hubung singkat satu phasa ke tanah

- Hubung singkat dua fasa

Hubung singkat dua fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa yang satu dengan satu penghantar fasa yang lainnya sehingga terjadi arus lebih (*over current*). Gangguan ini dapat diakibatkan oleh *flashover* dengan pohon-pohon yang tertutup oleh angin. Jika terjadi gangguan hubung singkat dua fasa, arus hubung singkatnya biasanya lebih kecil dari pada arus hubung singkat tiga fasa. Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah:

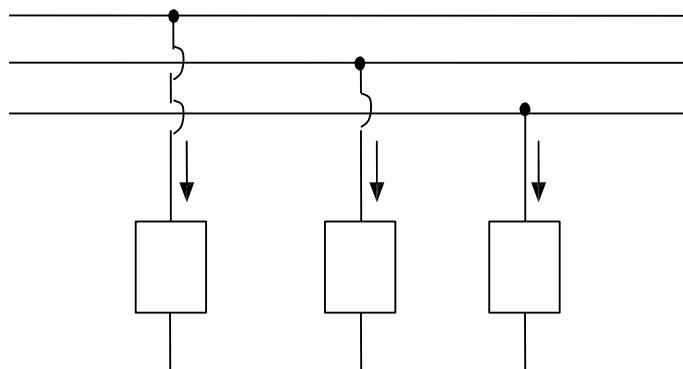
$$I_{\phi-\phi} = E \cdot \sqrt{3} / (Z_1 + Z_2 + Z_f) \dots \dots \dots (2.2)$$



Gambar 2.9 gangguan hubung singkat dua fasa

c. Hubung singkat tiga fasa

Hubung singkat tiga fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersatunya semua ketiga pengantar fasa. Gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangnya pohon kemudian menimpa kabel jaringan. Adapun formula perhitungan arus hubung singkatnya adalah:



Gambar 2.10 gangguan hubung singkat tiga fasa

Keterangan :

$I_{3\phi}$ = arus hubung singkat 3 fasa dalam amper

$I_{\phi-\phi}$ = arus hubung singkat fasa-fasa dalam amper

$I_{\phi-tanah}$ = arus hubung singkat fasa-tanah dalam amper

E = tegangan fasa = tegangan fasa-fasa / $\sqrt{3}$ dalam volt

Z_1 = impedansi urutan positif rangkaian dalam ohm

Z_2 = impedansi urutan negatif rangkaian dalam ohm

- Z_0 = impedansi urutan nol rangkaian dalam ohm
 Z_f = impedansi gangguan dalam ohm

2.1.5 Komponen Simetris

Metode komponen simetris digunakan untuk menguraikan suatu system tidak seimbang yang terdiri dari n buah fasor yang berhubungan menjadi n buah *system* fasor yang seimbang. Pada *system* tiga fasa, tiga fasor tidak seimbang dapat diuraikan menjadi tiga *system* fasor yang seimbang. Ketiga komponen seimbang pada komponen simetris adalah :

1. Komponen urutan positif
2. Komponen urutan negatif
3. Komponen urutan nol

Ketiga himpunan komponen simetris dinyatakan dengan susbskrip tambahan 1 untuk komponen urutan positif, 2 untuk komponen urutan negative dan 0 untuk komponen urutan nol. Komponen urutan positif dari V_a , V_b , dan V_c adalah V_{a1} , V_{b1} , dan V_{c1} . Demikian pula untuk komponen urutan negative adalah V_{a2} , V_{b2} , dan V_{c2} . Sedangkan komponen urutan nol adalah V_{a0} , V_{b0} , dan V_{c0} .

1. Komponen Urutan Positif

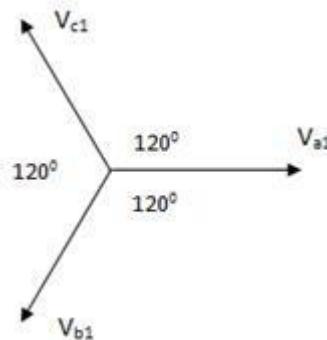
Komponen urutan ini terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah 120° satu sama lain dan mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor aslinya. Gambar dibawah menunjukkan fasor komponen urutan positif dengan urutan fasa system tenaga listrik abc. Arah putaran fasor berlawanan dengan arah jarum jam.

Pada pergeseran sudut akan lebih mudah menggunakan unit fasor dengan pergeseran sudut 120° dalam arah yang berlawanan dengan arah jarum jam. Hal ini dinamakan sebagai operator *fortescue*.

$$\alpha = 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j0,866$$

$$\alpha^2 = 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j0,866$$

$$\alpha^3 = 1 \angle 360^\circ = 1$$



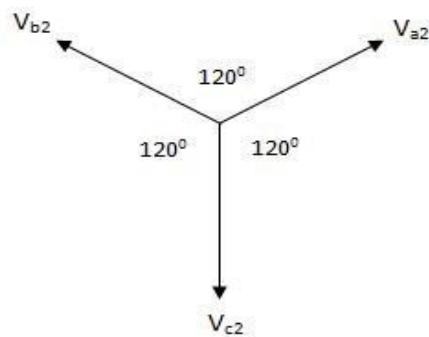
Gambar 2.11 fasor tegangan urutan positif

Fasor tegangan urutan positif memiliki pola yang sama dengan fasor arus urutan positif oleh karena itu pengaturan urutan positif dapat diperiksa kebenerannya sebagai berikut :

$$\begin{array}{ll} V_{a1} = V_1 & I_{a1} = I_1 \\ V_{b1} = \alpha^2 V_1 & I_{b1} = \alpha^2 I_1 \\ V_{c1} = \alpha V_1 & I_{c1} = \alpha I_1 \end{array}$$

2. Komponen Urutan Negatif

Komponen urutan ini terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah 120° satu sama lain dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya gambar dibawah menunjukkan fasor komponen urutan negative dengan urutan fasa system tenaga Isitrik abc, maka urutan fasa komponen urutan negative adalah acb. Arah putaran fasor berlawanan dengan arah jarum jam.



Gambar 2.12 fasor tegangan urutan negative

Seperti halnya pada urutan positif fasor tegangan urutan negative memiliki pola yang sama dengan fasor arus urutan negative. Oleh karena itu pengaturan urutan negative dapat diperiksa kebenarannya sebagai berikut :

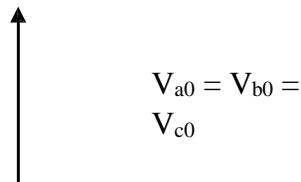
$$V_{a2} = V_2 \quad I_{a2} = I_2$$

$$V_{b2} = a V_2 \quad I_{b2} = IV_2$$

$$V_{c2} = a^2 V_2 \quad I_{c2} = a^2 I_2$$

3. Komponen Urutan Nol

Komponen urutan ini terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain. Gambar dibawah ini menunjukkan fasor komponen urutan nol dengan urutan fasa system tenaga listrik abc.



Gambar 2.13 fasor tegangan urutan Nol

Pengaturan tegangan dan arus urutan nol dapat diperiksa kebenarannya sebagai berikut :

$$V_{a0} = V_{b0} = V_{c0} = V_0$$

$$V_{a0} = V_{b0} = V_{c0} = V_0$$

Karena setiap fasor tak seimbang yang asli adalah jumlah komponen. Fasor asli yang dinyatakan dalam suku-suku komponennya adalah :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0}$$

dan

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} = a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} = a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}$$

Atau dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

dan

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}$$

2.1.6 Proteksi Pada Sistem Distribusi JTM 20 KV

2.1.6.1 Peralatan proteksi pada sistem distribusi JTM 20 KV

Peralatan proteksi pada sistem distribusi JTM 20 KV terdiri dari :

1. Relai arus lebih (*over current relay/OCR*)

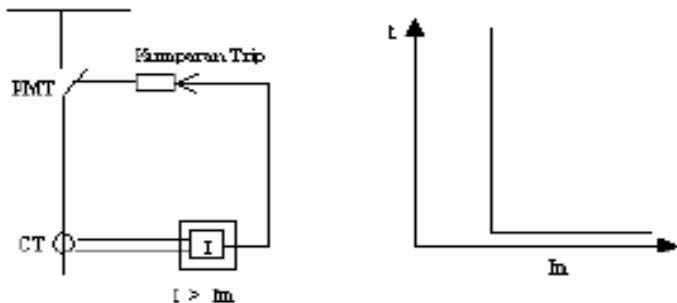
Relai arus lebih adalah relay yang bekerja terhadap arus lebih, relai akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingannya (1 set).

Prinsip kerja OCR pada dasarnya adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting.

Macam – macam karakteristik relai arus lebih (*over current relay/ OCR*):

a. Relai waktu seketika (*Instantaneous relay*)

Relai yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda), ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relai akan bekerja dalam waktu mili detik (10-20ms). Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini :

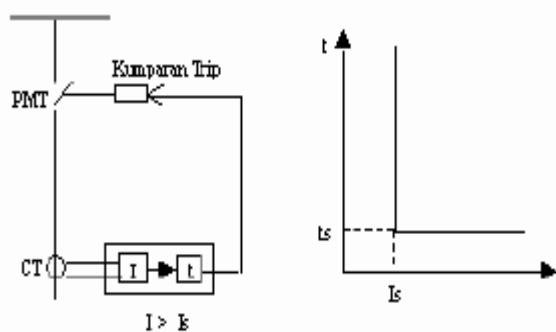


Gambar 2.14 karakteristik relay waktu seketika

Relai ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relai arus lebih dengan karakteristik yang lain.

b. Relai arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)

Relai ini akan memberikan perintah pada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus ganguan melampui settingannya (I_{set}), dan jangka waktu kerja relai mulai *pick up* sampai kerja relai diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relai, dapat kita lihat pada gambar dibawah ini :

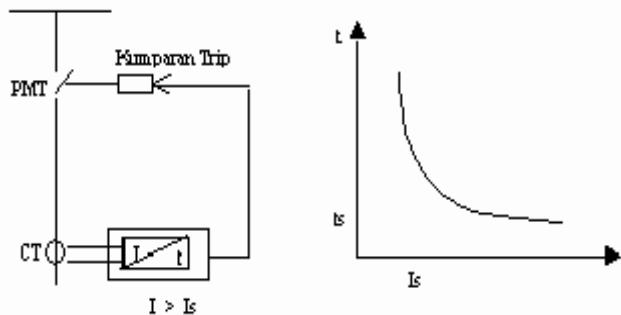


Gambar 2.15 karakteristik relay waktu definite

c. Relai arus lebih waktu terbalik (*Inverse Time*)

Relai ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik, makin besar arus makin kecil waktu

tundanya. Karakteristik ini bermacam – macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristiknya waktunya dibedakan dalam tiga kelompok yaitu *standar inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*.



Gambar 2.16 karakteristik relay waktu inverse

2.1.6.2 Prinsip Proteksi Pada Sistem Distribusi JTM 20 KV

pada prinsipnya relai pengaman yang dipasang pada *system* tenaga listrik mempunyai tiga macam fungsi yaitu :

1. Merasakan, mengukur, dan menentukan bagian *system* yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga *system* lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal
2. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang lain yang tidak terganggu didalam *system* tersebut serta mencegahnya meluasnya gangguan
3. Memperkecil bahaya bagi manusia

2.1.7 Fungsi & Persyaratan Relai Pengaman

Fungsi dari relai pengaman bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya dan meningkatkan kelangsungan pelayanan pada konsumen. Pada sistem distribusi yang baik, gangguan-gangguan yang terjadi pada tiap-tiap bagian harus dapat dideteksi dan dipisahkan dari sistem lainnya dalam waktu yang secepatnya

Syarat – syarat penting relai pengaman haruslah memenuhi, sensitive, selektif, dapat diandalkan dan cepat,yaitu :

1. *Sensitive* : relai harusnya mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Relai harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal ini memberikan keuntungan dimana kerusakan peralatan yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian relai harus stabil, artinya
 - a. Relai harus dapat membedakan antara arus gangguan atau arus beban maksimum
 - b. Pada saat pemasukan trafo daya, relai tidak boleh bekerja karena adanya *inrush*, yang besarnya seperti gangguan, yaitu 3 sampai 5 kali arus beban maksimum
 - c. Relai harus dapat membedakan adanya gangguan atau ayunan beban
2. *Selektif*: kemampuan relai proteksi untuk melakukan *tripping* secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain *system* proteksi tersebut. Suatu *system* proteksi tenaga harus bisa kerja secara selektif sesuai klasifikasi dan jenis gangguan yang harus diamankan. Sehingga kalau terjadi pemutusan hanya bagian yang terganggu saja yang terpisah. Atau pengaman hanya bekerja sesuai dengan fungsinya dan sesuai dengan daerah pengamannya.
3. Keandalan (*reliability*) : pada kondisi normal atau tidak ada gangguan, mungkin selama berbulan – bulan atau lebih relai tidak bekerja. Seandainya suatu saat terjadi gangguan maka relai tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan tersebut. Kegagalan kerja relai dapat mengakibatkan alat yang diamankan rusak berat atau gangguannya meluas sehingga daerah yang mengalami pemadaman semakin luas. Relai tidak boleh gagal kerja, artinya relai yang seharusnya tidak bekerja, tetapi bekerja, hal ini menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya dan menyulitkan analisa gangguan yang terjadi. Keandalan relai

pengaman ditentukan dari rancangan, penggerjaan, beban yang digunakan, dan perawatan.

4. Cepat : relai harus cepat bereksi / bekerja bila *system* mengalami gangguan atau kerja abnormal. Kecepatan bereaksi dari relai adalah saat relai mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan *circuit breaker* (CB) karena komando dari relai tersebut.
5. Ekonomis : satu hal penting yang harus diperhatikan sebagai persyaratan relai pengaman adalah masalah harga atau biaya. Relai tidak akan diaplikasikan dalam *system* tenaga listrik jika harganya mahal, persyaratan reabilitas, sensitivitas, selektivitas, dan kecepatan kerja relai hendaknya tidak menyebabkan harga relai menjadi mahal.

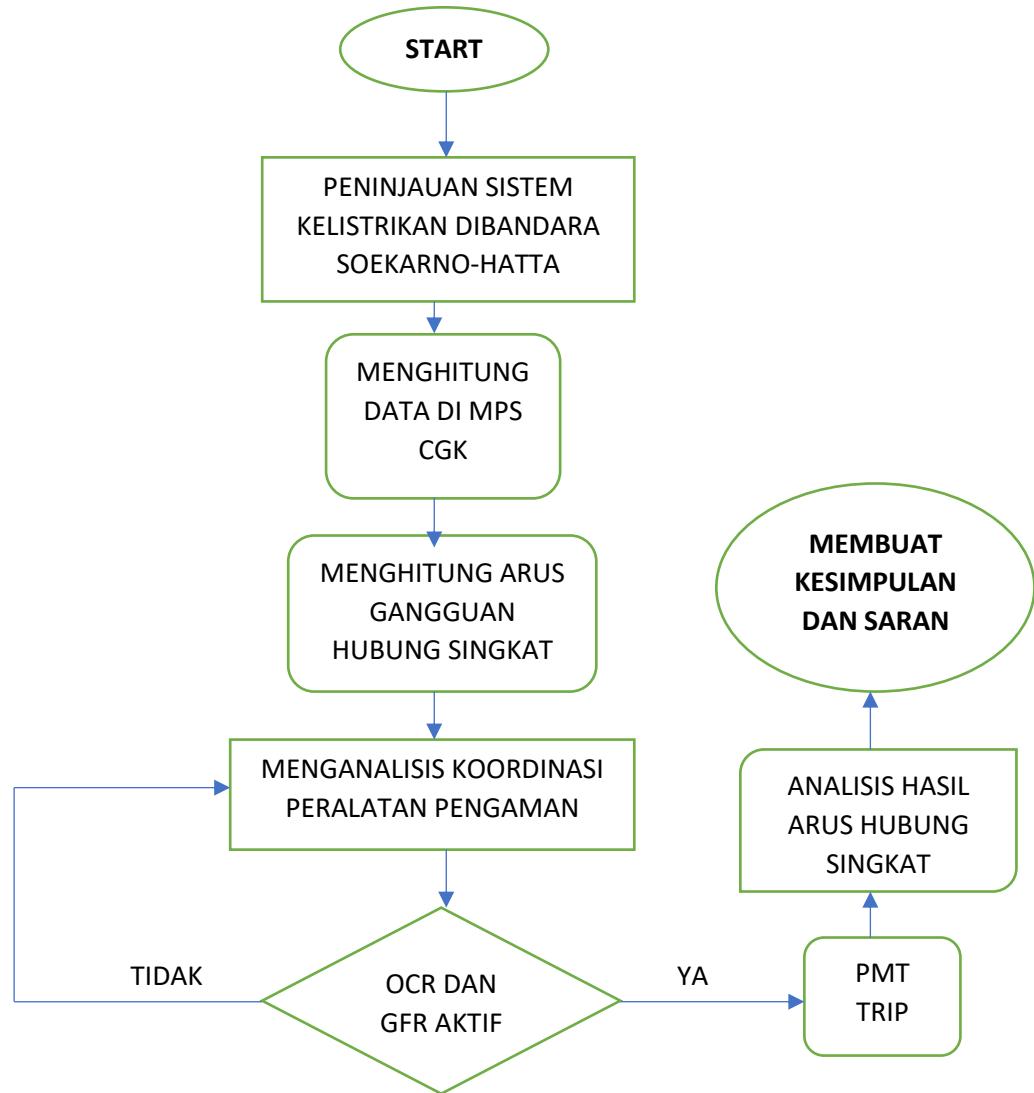
Pada dasarnya *system* perlindungan harus lebih yang digunakan pada saluran distribusi maupun pada saluran transmisi tidak berdiri sendiri artinya dalam pengoperasiannya dibantu oleh relai lain, yaitu :

1. Relai arus lebih adalah relai perlindungan yang bekerja apabila arus yang melewati daerah pengaman (*zone protection*) melebihi arus penyetelan dari relai arus tersebut dan memerintahkan PMT (pemutus tenaga) untuk segera memisahkan daerah terganggu secara otomatis
2. Relai arah adalah relai yang bekerja bila arus gangguan mempunyai arah tertentu dan arah sebaliknya tidak bekerja. Apabila relai arah ini digabung dengan arus lebih maka relai tersebut akan dikatakan sebagai relai arus lebih terarah
3. Relai gangguan tanah adalah relai yang bekerja apabila terjadi gangguan hubung singkat ketanah atau antara fasa ketanah
4. Relai penutup kembali (*auto reclosing*). Apabila pemutus tenaga yang dibuka pada waktu terjadi gangguan dapat ditutup kembali secara otomatis sesudah waktu tertentu. Maka proses ini dinamakan penutup kembali.
5. Relai jarak atau impedansi, arus (I) yang terukur pada lokasi relai dimana relai tersebut ditempatkan pada saat terjadinya gangguan V / I yang terukur lebih kecil dari V / I yang diamankan atau

impedansi (Z) saluran yang diamankan relai bekerja. Oleh karena impedansi saluran transmisi sebanding dengan jarak maka relai impedansi juga disebut relai jarak.

6. Relai turun tegangan, apabila terjadi gangguan pada saluran transmisi yang mengakibatkan tegangan *system* turun dibawah harga penyetelan relai ini, maka relai turun tegangan bekerja.
7. Relai waktu akan bekerja sifat penyetelan dan berfungsi sebagai penghambat kerja penjatuhan pemutus tenaga yang disesuaikan dengan lokasi gangguan.
8. Relai perasa (*statter*) bekerja paling awal untuk merasakan gangguan yang selanjutnya menghidupkan relai yang lain untuk beroperasi (menghidupkan relai pengukur atau relai waktu)

2.2 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.17 Diagram Alur Penelitian