



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik⁽¹⁾

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen.

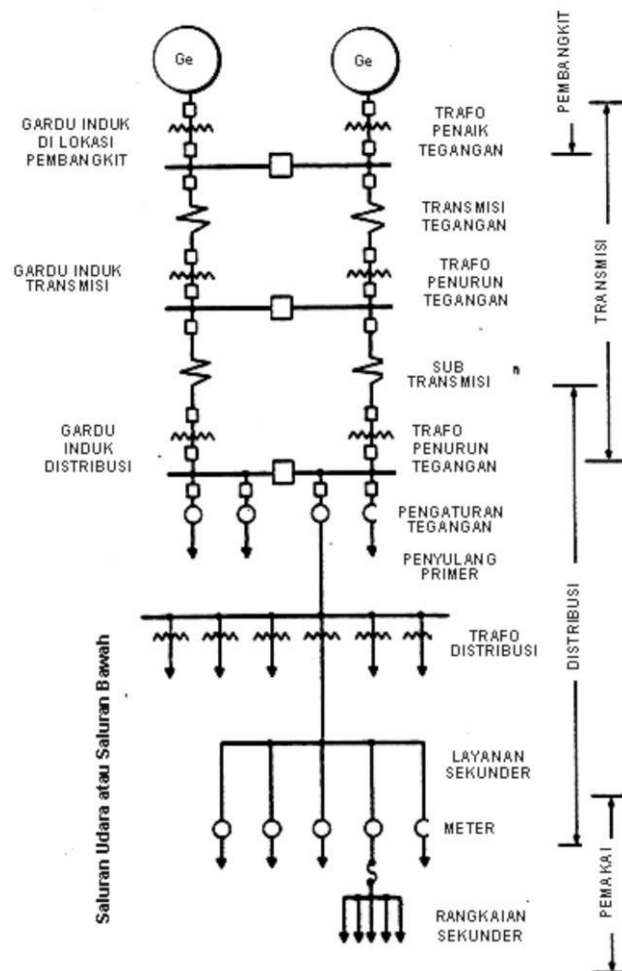
Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh Gardu Induk (GI) dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt.

Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke pelanggan konsumen. Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan *transformator step-up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain itu juga tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka,

¹ Suhadi dkk. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Hal 11

pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan *transformator step-down*. Dalam hal ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.



Gambar 2.1 Pengelompokan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dilihat dari tegangannya sistem distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu:

1. Distribusi Primer, terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo *substation* (GI) dengan titik primer trafo distribusi. Sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 20 kV/ 11,6 kV.



2. Distribusi Sekunder, terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban. Sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 380 / 220 volt.

Sebelumnya nilai tegangan operasional yang dipergunakan dilingkungan PLN pada level tegangan menengah bervariasi yaitu 6 kV, 12 kV dan 20 kV demikian juga pada level tegangan rendah yaitu 220/127 volt pada repelita 1 pada tahun 1970 dimulai perubahan tegangan yang kita kenal PTR / PTM hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan keandalan dan menurunkan susut jaringan.

2.2 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik⁽²⁾

Sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri dari pembangkit, gardu induk, jaringan transmisi dan distribusi. Berdasarkan konfigurasi jaringan, pada sistem ini setiap gangguan yang ada pada penghantar, akan mengganggu semua beban yang ada atau apabila terjadi gangguan pada salah satu *feeder* maka semua pelanggan yang terhubung pada GI tersebut akan terganggu.

Apabila gangguan tersebut bersifat permanen dan memerlukan perbaikan terlebih dahulu sebelum dapat dioperasikan kembali, maka pelanggan yang mengalami gangguan pelayanan jumlahnya relatif banyak.

Berdasarkan ANSI (*American National Standards Institute*)/IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi.

Gangguan hubung singkat sendiri dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Analisis

² Suswanto, Daman. 2009. *Sistem Distribusi tenaga listrik*. Padang, Hal 245 dan 253.



gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah beroperasi.

Selama terjadi gangguan, tegangan tiga fasa menjadi tidak seimbang dan mempengaruhi suplai ke sirkuit tiga fasa yang berdekatan. Arus gangguan yang besar dapat merusak tidak hanya peralatan yang terganggu, tetapi juga instalasi yang dilalui arus gangguan. Gangguan dalam peralatan yang penting dapat mempengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik. Misalnya suatu gangguan pada daerah suatu pembangkit yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem interkoneksi.

2.2.1 Penyebab Gangguan⁽³⁾

Penyebab gangguan dapat dikelompokkan menjadi 3 kategori utama, yaitu gangguan dari dalam, gangguan dari luar, dan gangguan faktor manusia.

1. Gangguan *Internal* (Dari Dalam)

Gangguan *internal* yaitu gangguan yang disebabkan oleh sistem itu sendiri. Misalnya gangguan hubung singkat, kerusakan pada alat, *switching* kegagalan isolasi, kerusakan pada pembangkit dan lain-lain.

2. Gangguan *External* (Dari Luar)

Gangguan *external* yaitu gangguan yang disebabkan oleh alam atau diluar sistem. Misalnya terputusnya saluran / kabel karena angin, badai, petir, pepohonan, layang-layang dan sebagainya.

3. Gangguan Karena Faktor Manusia

Gangguan karena faktor manusia yaitu gangguan yang disebabkan oleh kecerobohan atau kelalaian operator, ketidaktelitian, tidak mengindahkan peraturan pengamanan diri, dan lain - lain.

³ Mastura Azzura. 2013. *Gangguan Pada Sistem Distribusi*. (<http://elektro-unimal.blogspot.com/2013/06/gangguan-pada-sistem-distribusi.html>, diakses pada 12 Juni 2019, pukul 16.00 WIB).



2.2.2 Akibat Gangguan

Gangguan yang terjadi dapat mengakibatkan beberapa hal, antara lain beban lebih, hubung singkat, tegangan lebih, dan hilangnya sumber tenaga.

1. Beban Lebih

Pada saat terjadi gangguan maka sistem akan mengalami keadaan kelebihan beban karena arus gangguan yang masuk ke sistem dan mengakibatkan sistem menjadi tidak normal, jika dibiarkan berlangsung dapat membahayakan peralatan sistem.

2. Hubung Singkat

Pada saat hubung singkat akan menyebabkan gangguan yang bersifat temporer maupun yang bersifat permanen. Gangguan permanen dapat terjadi pada hubung singkat 3 fasa, 2 fasa ketanah, hubung singkat antar fasa maupun hubung singkat 1 fasa ketanah. Sedangkan pada gangguan temporer terjadi karena *flashover* antar penghantar dan tanah, antara penghantar dan tiang, antara penghantar dan kawat tanah dan lain-lain.

3. Tegangan Lebih

Tegangan lebih dengan frekuensi daya, yaitu peristiwa kehilangan atau penurunan beban karena *switching*, gangguan AVR, *over speed* karena kehilangan beban. Selain itu tegangan lebih juga terjadi akibat tegangan lebih surja petir dan surja hubung / *switching*.

4. Hilangnya Sumber Tenaga

Hilangnya pembangkit biasanya diakibatkan oleh gangguan di unit pembangkit, gangguan hubung singkat jaringan sehingga relay dan CB bekerja dan jaringan terputus dari pembangkit.



2.3 Gangguan Hubung Singkat⁽⁴⁾

Gangguan listrik yang terjadi pada sistem kelistrikan 3 fasa, adalah:

- Gangguan hubung singkat 3 fasa
- Gangguan hubung singkat 2 fasa
- Gangguan hubung singkat 2 fasa-ket tanah, dan
- Gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah.

Bila gangguan listrik tidak diamankan dengan baik, dapat mentripkan pengaman listrik di *incoming feeder*, sehingga pemadaman listrik dapat meluas yang disebut *blackout*. Untuk mengamatkannya diperlukan koordinasi proteksi yang terpasang baik di *incoming feeder*, *outgoing feeder* dan pengaman yang terpasang di jaringan 20 kV (Relai atau Recloser).

Semua gangguan hubung singkat diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar (hukum ohm), yaitu:

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

I = Arus yang mengalir pada hambatan (A)

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, dari sumber tegangan sampai titik gangguan (Ω)

Selanjutnya untuk setting relai dihitung dengan mempertimbangkan data impedansi, dimana impedansi urutan setiap arus gangguan dibedakan impedansi urutannya seperti ditunjukkan sebagai berikut ini:

$$Z \text{ gangguan 3 fasa, } Z = Z_1 + Z_f$$

$$Z \text{ gangguan 2 fasa, } Z = Z_1 + Z_2 + Z_f$$

⁴ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 155.



Z gangguan 1 fasa ke tanah, $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_f$

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif (ohm, pu)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (ohm, pu)

Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm, pu)

Z_f = Impedansi gangguan (ohm, pu)

Sedangkan rumus yang dipergunakan untuk menentukan level daya hubung singkat dilakukan sebagai berikut :

$$MVA_{sc} = \frac{\sqrt{3} I_{3\phi} kV}{1000} \dots\dots\dots (2.2)^{(5)}$$

Dimana :

MVA_{sc} = Daya hubung singkat (MVA)

kV = Tegangan fasa-fasa (kV)

$I_{3\phi}$ = Arus gangguan hubung singkat (A)

2.3.1 Komponen Simetris⁽⁶⁾

Menurut teori Fortescue, dalam sistem tak seimbang yang terdiri dari n buah pasor yang saling berhubungan dapat diuraikan menjadi n buah sistem dengan pasor seimbang, ini dikatakan sebagai komponen simetris (*symmetrical component*).

Jadi tiga pasor tidak seimbang dari suatu sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem pasor seimbang, dimana komponen-komponennya, sebagai berikut :

⁵ Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Andi, Hal 39

⁶ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 83.



- Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga pasor yang sama besarnya dalam magnitude, dimana masing-masing terpisah satu dengan lainnya dalam sudut fasa 120° dan mempunyai urutan sequence fasa sama seperti pasor aslinya.
- Komponen urutan negatif, adalah terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dalam magnitude, dimana masing-masing terpisah satu dengan lainnya dalam sudut fasa 120° dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan pasor aslinya.
- Komponen urutan nol, adalah terdiri dari tiga pasor yang sama besarnya dalam magnitude, dengan pergeseran fasa nol antara pasor yang satu dengan yang lain.

Impedansi urutan dapat didefinisikan sebagai suatu impedansi yang dirasakan oleh arus urutan bila tegangan urutannya dipasang pada peralatan atau sistem tersebut. Seperti juga tegangan dan arus di dalam metode komponen simetris dan tak simetris.

Impedansi yang dikenal ada tiga macam yaitu :

- Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol.

Cara yang biasa dilakukan dalam menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada komponen simetris adalah memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang terletak semakin jauh dari gardu induk tersebut.

Impedansi saluran suatu sistem tenaga listrik tergantung dari jenis konduktornya yaitu dari bahan apa konduktor itu dibuat yang juga tentunya pula dari besar kecilnya penampang konduktor dan panjang saluran yang digunakan

jenis konduktor ini.

Besarnya impedansi urutan positif dan urutan negatif tergantung dari pabrikan dimana $Z_1 = Z_2$, kecuali untuk Z_0 tergantung pada putaran mesin dan masing-masing elemen peralatan listrik seperti terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Urutan Nol dari Variasi Elemen pada Sistem

Tenaga Listrik⁽⁷⁾

Elemen	Z_0
Trafo tenaga : (dilihat dari sisi sekunder) <ul style="list-style-type: none">• Tanpa Pembumian• Yyn atau Zyn:• Ydyn• Dyn atau YNyn• Dzn atau Yzn	∞ 10 s/d 15 X_1 3 X_1 X_1 0,1 s/d 0,2 X_1
Generator : <ul style="list-style-type: none">• Sinkron• Asinkron	0,5 Z_1 0
Jaringan	3 Z_1

2.3.2 Perhitungan Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi bus sekunder, maka data yang dihitung terlebih dahulu adalah data hubung singkat di sisi bus primer trafo. Berikut persamaan untuk menghitung impedansi sumber :

$$X_{sc} = \frac{kV^2}{MVA} \dots \dots \dots (2.3)^{(8)}$$

Dimana :

X_{sc} = Impedansi hubung singkat sumber (Ω)

⁷ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 88.

⁸ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 164.



kV = Tegangan pada sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Daya hubung singkat sumber (MVA)

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai tahanan pada sisi primer, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 kV atau sisi sekunder, maka impedansi sumber tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah menggunakan sumber 20 kV.

Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 KV, dilakukan dengan persamaan 2.4 :

$$Z_2 \text{ (sisi 20 kV)} = \frac{kV_2^2}{kV_1^2} \times Z_1 \text{ (sisi 150 kV)} \dots\dots\dots (2.4)^{(9)}$$

Dimana :

kV_1 = Tegangan transformator tenaga sisi primer (kV)

kV_2 = Tegangan transformator tenaga sisi sekunder (kV)

Z_1 = Impedansi transformator tenaga sisi primer (ohm)

Z_2 = Impedansi transformator tenaga sisi sekunder (ohm)

2.3.3 Menghitung Reaktansi Transformator Tenaga

Besarnya nilai reaktansi trafo biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase, untuk mencari nilai reaktansi dalam ohm dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$X_T \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.5)^{(9)}$$

Dimana :

X_T = Reaktansi trafo tenaga (Ω)

kV = Tegangan pada sisi sekunder (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo (MVA)

⁹ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 166.



Nilai reaktansi trafo tenaga di atas adalah nilai reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{T1} = X_{T2}$), yang dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_{T1} = XT1 (\%) \cdot X_{T1} (\text{pada } 100\%) \dots\dots\dots (2.6)^{(9)}$$

Dimana :

X_{T1} / X_{T2} = Reaktansi urutan positif dan negatif (Ω)

$XT1(\%)$ = Impedansi yang terdapat pada *name plate* trafo (%)

X_{T1} = Nilai reaktansi trafo pada 100 % (Ω)

Pada reaktansi urutan nol trafo tenaga, maka nilai reaktansi urutan nol dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$X_{T0} = 3 \times X_{T1} / X_{T2} \dots\dots\dots (2.7)^{(9)}$$

Dimana :

X_{T0} = Reaktansi urutan nol (Ω)

X_{T1} / X_{T2} = Reaktansi urutan positif dan negative (Ω)

2.3.4 Menghitung Impedansi Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang dapat dihitung tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya ditentukan dari jenis penghantarnya, yaitu dari luas penampang dan panjang jaringan SUTM dan SKTM.

Disamping itu penghantar juga dipengaruhi perubahan temperatur dan konfigurasi dari penyulang juga sangat mempengaruhi besarnya impedansi penyulang tersebut. Contoh besarnya nilai impedansi penyulang, yaitu :

$$Z = (R + jX) \Omega / \text{km} \dots\dots\dots (2.8)^{(10)}$$

¹⁰ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 167.



Dimana :

Z = Impedansi Penyulang (Ω)

R = Tahanan Penyulang (Ω)

jX = Induktansi Penyulang (Ω)

Sehingga untuk impedansi pada penyulang urutan positif dan urutan negatif ($Z_1 = Z_2$) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$Z_1 = Z_2 = \text{Data } Z_1 \times \text{panjang penyulang (kms)} \dots\dots\dots (2.9)^{(10)}$$

Keterangan :

$Z_1 = Z_2$ = impedansi urutan urutan positif dan negatif (Ω)

Data Z_1 = Impedansi kawat penghantar (Ω)

Untuk impedansi pada penyulang urutan nol (Z_0) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$Z_0 = \text{Data } Z_0 \times \text{panjang penyulang (kms)} \dots\dots\dots (2.10)^{(10)}$$

Keterangan :

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)

Data Z_0 = Impedansi kawat penghantar (Ω)

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan yang dalam perhitungan ini disimulasikan terjadi pada lokasi dengan jarak 1%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.



2.3.5 Impedansi Ekivalen Penyulang

Perhitungan impedansi ekivalen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{eki} = Z_S + Z_T + Z_F \dots\dots\dots (2.11)^{11}$$

Ada 2 jenis perhitungan impedansi ekivalen, yaitu :

a. Perhitungan impedansi ekivalen urutan positif dan urutan negatif

Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif diperoleh dari penjumlahan impedansi sumber urutan positif/negatif, impedansi trafo urutan positif/negatif dan impedansi penyulang urutan positif/negatif. Maka untuk memperoleh impedansi ekivalen urutan positif/negatif, dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Z_{1 eki} = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_1 \text{ feeder} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

$Z_{1 eki}$ = Impedansi ekivalen urutan positif / negatif (Ohm)

Z_{S1} = Impedansi sumber sisi sekunder (ohm)

Z_{T1} = Impedansi trafo tenaga urutan positif atau negatif (ohm)

$Z_1 \text{ feeder}$ = Impedansi penyulang urutan positif atau negatif (ohm)

b. Perhitungan impedansi ekivalen urutan nol

Impedansi ekivalen urutan nol diperoleh dari penjumlahan antara empedansi trafo urutan nol, nilai $3 R_N$ (tahanan netral) dan impedansi feeder urutan pentanahan tahanan 40 Ohm, maka $Z_0 eki$, dihitung:

- Mulai dari trafo yang ditanahkan
- Tahanan netral nilai $3 R_N$
- Impedansi penyulang

¹¹ Ayubi. 2009. *Perhitungsn Impedansi dan Reaktansi*. (<http://elektroayubi.blogspot.com/2009/02/perhitungan-impedansi-danreaktansi.html>) di akses pada 13 Juni 2019.



$$Z_0 \text{ eki} = Z_{T0} + 3 R_N + Z_0 \text{ feeder} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

$Z_0 \text{ eki}$ = Impedansi ekivalen urutan nol (Ohm)

Z_{T0} = Impedansi trafo tenaga urutan nol (ohm)

R_N = Tahanan netral (Ohm)

$Z_0 \text{ feeder}$ = Impedansi feeder urutan nol (Ohm)

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 1%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka $Z_0 \text{ eq}$ yang didapat juga pada lokasi tersebut. Setelah mendapatkan impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari hubung singkat 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ke tanah.

2.3.6 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah memperoleh impedansi equivalent sesuai dengan lokasi gangguan yang dipilih, selanjutnya dihitung arus gangguan hubung singkat yaitu arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah. Berikut persamaan yang digunakan untuk menentukan arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah.

A. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus hukum ohm yaitu :

$$I_{f3\theta} = \frac{E_{\text{fasa}}}{Z_{1\text{eq}} + Z_f} \dots\dots\dots (2.14)^{(12)}$$

Dimana :

$I_{f3\theta}$ = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa (A)

E_{fasa} = Tegangan fasa-netral sistem $20 \text{ kV} = \frac{20000}{\sqrt{3}}$

¹² Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 169.



Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

Selain gangguan hubung singkat 3 fasa ini, terdapat juga gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah. Tetapi, besarnya gangguan hubung singkat 3 fasa tanpa melalui tanah atau dengan melalui tanah besarnya tetap sama.

B. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{f2\theta} = \frac{E_{\text{fasa-fasa}}}{2Z_1 + Z_f} \dots \dots \dots (2.15)^{(13)}$$

Dimana :

$I_{f2\theta}$ = Arus gangguan hubung singkat 2 fasa (A)

$E_{\text{fasa-fasa}}$ = Tegangan fasa-fasa (kV)

$2Z_1$ = Impedansi ekivalen urutan positif dan negatif (Ohm)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

Seperti halnya gangguan 3 fasa, gangguan hubung singkat 2 fasa juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang. Dalam hal ini dianggap nilai $2Z_1$ adalah $Z_{1eq} = Z_{2eq}$.

C. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{f1\theta} = \frac{3.E}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq} + Z_f} \dots \dots \dots (2.16)^{(13)}$$

Dimana :

$I_{f1\theta}$ = Arus gangguan hubung singkat fasa-tanah (A)

E = Tegangan fasa-netral sistem $20 \text{ kV} = \frac{20000}{\sqrt{3}}$

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)

Z_{2eq} = Impedansi ekivalen urutan negatif (Ohm)



Z_{0eq} = Impedansi ekivalen urutan nol (Ohm)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

Kembali sama halnya dengan perhitungan arus gangguan 3 fasa dan 2 fasa, arus gangguan 1 fasa ketanah juga dihitung untuk lokasi gangguan yang di asumsikan terjadi pada 1%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, sehingga dengan rumus terakhir diatas dapat dihitung besarnya arus gangguan 1 fasa ke tanah sesuai lokasi gangguannya.

2.4 Relai⁽¹³⁾

Alat yang peka terhadap perubahan pada rangkaian yang dapat mempengaruhi bekerjanya alat lain.

Adapun relai yang terpasang terdiri dari :

- Pengaman gangguan antar fasa (*Over Current Relay*)
- Pengaman gangguan satu fasa ke tanah (*Ground Fault Relay*)
- Moment (*Instant*), Sebagai pengaman untuk arus yang besar.
- Peralatan bantu untuk pengaman, terdiri dari :
 1. *Current Transformer* : gunanya adalah jika ada gangguan pada system, meneruskan arus dari sirkit system tenaga listrik ke sirkit relai.
 2. Relai pengaman : sebagai elemen perasa yang signalnya diperoleh dari trafo arus.
 3. Pemutus tenaga (PMT) : sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkit terganggu.
 4. Baterai / aki : sebagai sumber tenaga untuk mentriapkan PMT.

¹³ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 27.

2.4.1 Rele arus lebih (*Over Current Relay*)⁽¹⁴⁾

System proteksi pertama yang dilakukan untuk mengamankan system adalah dengan menggunakan sekering. Kemudian disusul dengan menggunakan rele beban lebih ataupun rele tegangan kurang yang kemudian diikuti oleh berkembangnya system proteksi dengan rele arus lebih. Rele arus lebih inilah rele proteksi yang pertama dan paling sederhana yang banyak digunakan untuk memproteksi jaringan system tenaga listrik.

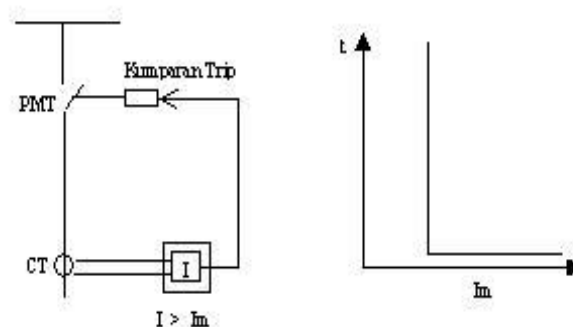
Pada dasarnya rele arus lebih dapat diklasifikasikan atas dua kategori, yaitu rele arus lebih biasa atau non-direksional dan rele arus lebih yang dilengkapi dengan elemen arah.

- Karakteristik arus lebih ⁽¹⁵⁾

Hubungan kerja antara besar arus dan waktu kerja relai, antara lain :

a. *Instantaneous Relay*

Setelannya tanpa waktu tunda, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 50 s/d 100 milidetik, dengan karakteristik seperti terlihat pada gambar 2.2, bekerjanya berdasarkan pada besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih. Pada setelan koordinasi proteksi di sistem distribusi TM disebut moment/seketika. Setelan ini dapat di set kan pada OCR dan GFR.



Gambar 2.2 Karakteristik relay waktu seketika

¹⁴ Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta : Andi, Hal 65

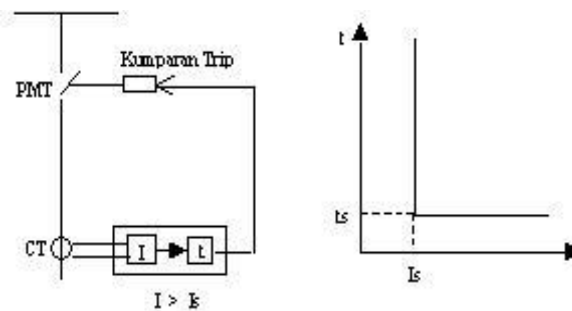
¹⁵ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 27.

b. *Definite Time Relay*

Kurva *definite time relay* dapat dilihat pada gambar 2.3. Relay ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja relay mulai pickup sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay.

Keuntungan dan kerugian karakteristik relay ini adalah :

- Koordinasi mudah, hanya dengan peningkatan waktu.
- Tidak terpengaruh dengan kapasitas pembangkit.
- Semakin dekat ke sumber waktu kerja semakin panjang



Gambar 2.3 Karakteristik relay waktu tertentu

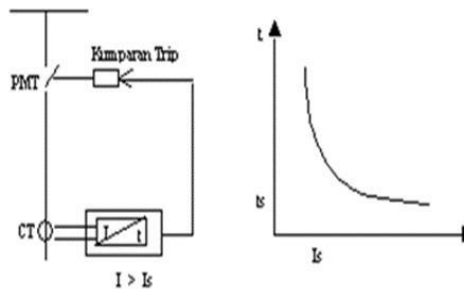
c. *Inverse Time Relay*

Stelan proteksi dengan mempergunakan karakteristik *Inverse Time Relay* adalah karakteristik yang grafiknya terbalik antara arus dan waktu, dimana makin besar arus makin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka pemutus (PMT).

Setelan relai dengan mempergunakan karakteristik inverse biasanya dipergunakan pada system distribusi tenaga listrik sebagai setelan relai yang terpasang pada *incoming / outgoing feeder*, relai yang terpasang pada gardu hubung atau recloser, dimana penyetelan arus dan waktu relai OCR dan GFR didasarkan pada besarnya arus gangguan hubung singkat yang disetel dari sisi hilir sampai sisi hulu.

karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

- *Standar invers*
- *Very inverse*
- *extremely inverse*



Gambar 2.4 Karakteristik relay waktu terbalik

2.4.2 Penyetelan Relay Arus Lebih

Untuk melakukan penyetelan relay arus lebih di jaringan distribusi, harus diketahui besar setelan arus (I_{set}) pada relay dan besar setelan *Time Multiple Setting* (TMS) pada relay. Berikut persamaan yang akan digunakan dalam penyetelan relay arus lebih, yaitu :

Rumus yang digunakan setelan arus untuk relay arus lebih adalah sebagai berikut :

$$I_s = 1,05 \times I_{beban} \dots \dots \dots (2.17)^{(16)}$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

¹⁶ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 191



$$I_{set \text{ (sekunder)}} = I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{RasioCT} \dots\dots\dots (2.18)^{(17)}$$

2.4.3 Perhitungan Setelan *Time Multiple Setting* (TMS)

Waktu operasi rele merupakan waktu operasi yang dibutuhkan rele untuk memutuskan pemutus tenaga setelah arus gangguan yang masuk ke rele melalui transformator arus melebihi arus penyetelannya dan dapat dituliskan seperti persamaan berikut :

$$TMS = \frac{\left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)}{\beta} t \dots\dots\dots (2.19)^{(17)}$$

$$t = \frac{\beta}{\left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right)} Tms \text{ (detik)} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

TMS = Penyetelan waktu

t = Waktu penyetelan (dt)

If = Arus gangguan (A)

Iset = Arus penyetelan (A)

α / β = Konstanta

Tabel 2.2 Faktor α dan β tergantung pada kurva arus V_s waktu

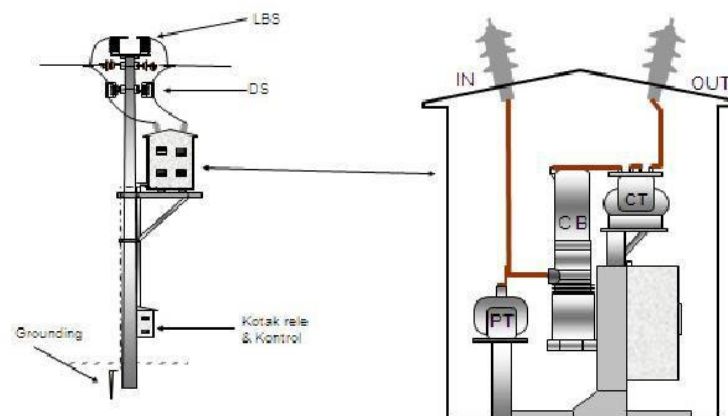
Nama kurva	α	β
<i>Standar inverse</i>	0,02	0,14
<i>very inverse</i>	1	13,2
<i>Extremely inverse</i>	2	80
<i>Long Inverse</i>	1	120

¹⁷ Sarimun, Wahyudi. 2016. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Kedua*. Bekasi : Garamond. Hal 31

2.5 Pengertian PMCB (*Pole Mounted Circuit Breaker*)⁽¹⁸⁾

PMCB (*Pole Mounted Circuit Breaker*) adalah sistem proteksi yang terpasang pada tiang jaringan listrik 20 kV untuk semua jenis sistem pentanahan yg efektif, flesibel, murah, sekaligus untuk Alat Pembatas dan Pengukur (APP) pelanggan PT. PLN (Persero), untuk tegangan menengah.

Dengan menggunakan PMCB, lingkupnya lebih kecil dan akan melokalisir pemutusan aliran listrik di suatu daerah bila terjadi gangguan, dibandingkan bila pemutusan aliran dari gardu induk. Pengukuran penggunaan listrik untuk pelanggan juga akan lebih akurat dan dapat mendeteksi kebocoran listrik bila terjadi.



Gambar 2.5 Konstruksi Pemasangan PMCB

Isi dari instalasi PMCB adalah rangkaian saklar beban LBS (*Load Break Switch*), pemutus tenaga yang terhubung paralel serta relay proteksi arus lebih (OCR) dan relay gangguan tanah (GFR). PMCB dilengkapi sarana pemutus tenaga / pembatas beban pelanggan khusus tegangan menengah. PMCB juga dapat dilengkapi sarana pelayanan kendali jarak jauh (SCADA).

¹⁸ PT. PLN. 2003. Ms. Power Point file: PMCB INOVASI WORKSHOP



2.5.1 Fungsi PMCB

PMCB sebagai pengaman pada jaringan listrik tegangan menengah memiliki beberapa fungsi, yaitu:

1. Melokalisir gangguan listrik hanya pada daerah yang terganggu saja secara selektif.
2. Sebagai recloser untuk gangguan temporer (sementara).
3. Sebagai alat ukur presisi kWh EXIM (*Export – Import*) perbatasan 2 area kerja.
4. Sebagai alat ukur presisi APP (Alat Pengukur dan Pembatas) Pelanggan.
5. Sebagai sarana *Manual Load Shedding* dengan adanya fasilitas *Master Remote Control*.

2.5.2 Cara Kerja PMCB

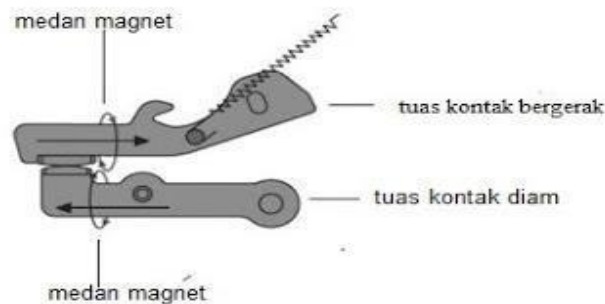
Secara umum prinsip kerja dari PMCB sama dengan cara kerja CB/PMT. Yang membedakan kedua peralatan proteksi ini yaitu letak masing-masing protektor, yang mana CB ditempatkan di Gardu Induk (GI) sedangkan PMCB diposisikan di tengah jaringan, tengah beban, di daerah yang sering gangguan, ataupun di daerah yang diprioritaskan, sesuai dengan keperluan dan kebutuhan. PMCB dapat bekerja secara otomatis ketika terjadi gangguan atau secara manual ketika dilakukan perawatan atau perbaikan.

A. Cara Kerja PMCB Secara Otomatis

Trafo arus (CT) berfungsi untuk mengukur dan mentransformasikan besaran (Ampere) yang besar ke besaran yang sama dengan nilai yang berbeda. Trafo arus juga berfungsi untuk mendeteksi arus dan mengirimkannya ke relay.

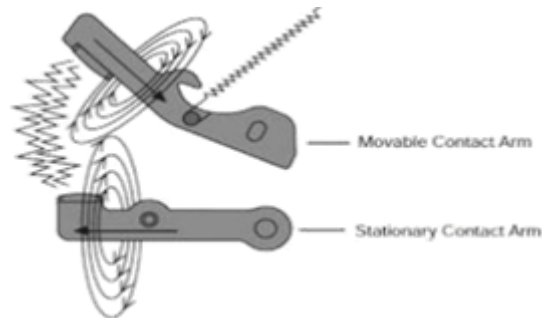
Relay proteksi sebagai alat pembatas dan pengaman dipasang dalam box kontrol, yang berada pada salah satu tiang dibawah PMCB, yang berfungsi untuk memonitor besaran gangguan dan memerintahakan PMCB untuk *open / close*.

Setiap arus yang mengalir pada suatu penghantar di suatu penyulang akan dideteksi dan diukur oleh CT yang kemudian dikirimkan ke relay. Kemudian Relay akan memonitor seberapa besar arus yang dikirim oleh CT. Apabila arus yang dikirim melebihi settingan arus yang telah ditentukan maka akan memerintahkan kontak untuk *open*, setelah kontak *open* arus terhenti. Untuk meminimalisir percikan api ketika kontak terbuka digunakan vakum, dan ketika kontak *open / close* akan terdengar suara dentuman yang keras. Sistem PMCB bekerja dengan prinsip apabila ada arus yang berlebih akan menimbulkan medan elektro magnet yang akan menarik tuas penghubung terminal sehingga hubungan antar terminal terputus pada VCB *Motorized*.



Gambar 2.6 PMCB dengan media VCB *Motorized*

Perhatikan gambar 2.6. Arus dari sumber ke beban melalui tuas kontak pada VCB *Motorized*. Tuas kontak terdiri dari tuas kontak yang bias bergerak dan tuas kontak yang tidak bergerak atau diam. Pada saat arus mengalir di tuas kontak akan timbul medan magnet pada tuas kontak tersebut. Karena arah arus berlawanan, maka medan magnetpun akan berlawanan. Pada kondisi normal medan magnet tidak cukup kuat untuk memisahkan titik kontak dan arus tetap tersambung ke beban. Pada saat arus berlebihan maka medan magnet dengan cepat bertambah kuat hingga mampu memisahkan titik kontak, seperti terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pergerakan Tuas PMCB dengan media VCB *Motorized*

Tuas pengoperasian dihubungkan dengan tuas kontak bergerak. Pegas berfungsi memberikan tekanan pada tuas kontak bergerak agar tekanan pada sambungan titik kontak menjadi kuat.



Gambar 2.8 Tuas PMCB dalam posisi terbuka (*open*)

B. Cara Kerja PMCB secara manual

PMCB dapat dioperasikan dalam keadaan normal atau secara manual, yaitu dengan mengengkol VCB atau melalui *box control* dengan menekan tombol ON pada saklar S. Namun, karena VCB ada di dalam box besar, sehingga PMCB secara manual hanya bisa dilakukan dengan menekan tombol ON/OFF yaitu saklar S yang ada pada *box control* PMCB. Saat ditekan tombol ON, maka PMCB akan terhubung (*close*) dan jika menekan tombol OFF, maka PMCB akan memutus (*open*) baik dalam keadaan berbeban dan bertegangan maupun dalam keadaan tidak berbeban dan tidak bertegangan.



2.6 Kontaktor⁽¹⁹⁾

Kontaktor adalah peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik inti besi. Kontaktor terdiri dari 3 bagian pokok, yaitu : kontak utama, kontak bantu, dan koil magnetik. Didalam suatu kontaktor elektromagnetik terdapat kumparan utama yang terdapat pada inti besi. Kumparan hubung singkat berfungsi sebagai peredam getaran saat kedua inti besi saling melekat. Apabila kumparan utama dialiri arus, maka akan timbul medan magnet pada inti besi yang akan menarik inti besi dari kumparan hubung singkat yang dikopel dengan kontak utama dan kontak bantu dari kontaktor tersebut. Hal ini akan mengakibatkan kontak utama dan kontak bantu akan bergerak dari posisi normal dimana kontak NO akan tertutup sedangkan NC akan terbuka. Selama kumparan utama kontaktor tersebut masih dialiri arus, maka kontak - kontaknya akan tetap pada posisi operasinya.

2.6.1 Prinsip Kerja Kontaktor

Sebuah kontaktor terdiri dari koil, beberapa kontak Normally Open (NO) dan beberapa Normally Close (NC). Pada saat satu kontaktor normal, NO akan membuka dan pada saat kontaktor bekerja, NO akan menutup. Sedangkan kontak NC sebaliknya yaitu ketika dalam keadaan normal kontak NC akan menutup dan dalam keadaan bekerja kontak NC akan membuka. Koil adalah lilitan yang apabila diberi tegangan akan terjadi magnetisasi dan menarik kontak - kontaknya sehingga terjadi perubahan atau bekerja. Kontaktor yang dioperasikan secara elektromagnetis adalah salah satu mekanisme yang paling bermanfaat yang pernah dirancang untuk penutupan dan pembukaan rangkaian listrik.

¹⁹ Nurmawan, Aji. 2015. Kontaktor Magnet. (<http://dunialistrikelektron.blogspot.com/2015/04/pengertian-kontaktor-magnet-dan.html#.VXZv4LVHLIU>, diakses pada 12 Juni 2019, pukul 10.15 WIB).



2.7 Sistem SCADA⁽²⁰⁾

Sistem SCADA merupakan singkatan dari *Supervisory Control And Data Acquisition*. Dari segi bahasa berarti sistem pengawasan atau pemantauan kendali terhadap pengiriman dan penerimaan data pada suatu sistem tenaga listrik baik pada sisi pembangkit, transmisi maupun distribusi. Adanya sistem SCADA memudahkan operator untuk memantau keseluruhan jaringan tanpa harus melihat langsung ke lapangan. Sistem SCADA sangat dirasakan manfaatnya terutama pada saat pemeliharaan dan saat penormalan bila terjadi gangguan. Jadi secara umum SCADA adalah suatu sistem yang dapat mendeteksi secara segera dari suatu pusat kontrol apabila di suatu tempat terjadi gangguan yang berakibat pemadaman secara otomatis dengan berfungsi sebagai suatu *remote control*. Sistem SCADA tidak dapat berdiri sendiri, namun harus didukung oleh berbagai macam infrastruktur, yaitu:

1. Telekomunikasi
2. *Master Station*
3. *Remote Terminal Unit*
4. Protokol Komunikasi

Media telekomunikasi yang umum digunakan adalah PLC (*Power Line Communication*), serat optik, dan radio link. Pada awalnya penggunaan radio link dan PLC banyak digunakan, terutama karena penggunaan PLC yang tidak memerlukan jaringan khusus dan cukup menggunakan saluran transmisi tenaga listrik yang ada. Namun pada perkembangannya penggunaan PLC mulai beralih ke serat optik dikarenakan kecepatan bit per detik yang jauh di atas PLC. Pada kenyataannya ketiga media tersebut di atas digunakan secara bersama-sama, sebagai *main* dan *backup*. *Master station* merupakan kumpulan perangkat keras dan lunak yang ada di pusat kendali (*Control Center*).

²⁰ Fransisca Sipahutar. Theresia. 2015. *Pengintegrasian PMCB Dengan Sistem Scada Pada Penyulang Srikandi Gi Talang Kelapa Di PT PLN (Persero) Palembang*. Laporan Akhir, Politeknik Negeri Sriwijaya. Tidak Diterbitkan. Hlm : 21.



Agar dapat melakukan akuisisi data maupun pengendalian sebuah gardu induk maka dibutuhkan suatu terminal yang dapat memenuhi persyaratan tersebut, yaitu *Remote Terminal Unit* (RTU). Penggunaan RTU berawal dari RTU dengan 8 bit, hingga sekarang telah dikembangkan RTU dengan 16 bit, bahkan sudah hampir menyerupai sebuah komputer. RTU tersebut harus dilengkapi dengan panel, *transducer*, dan *wiring*.

Pada masa lampau, RTU dikembangkan oleh produsen secara sendiri-sendiri, juga dengan protokol komunikasi yang tersendiri sehingga tidak ada standarisasi. Sebagai contoh ada RTU dengan protokol komunikasi HNZ, Indactic, dan sebagainya. Penggunaan protokol yang berbeda-beda ternyata menimbulkan masalah di kemudian hari ketika akan dilakukan penggantian. Hal ini dikarenakan produk lama sudah tidak diproduksi lagi, sedangkan produk baru sudah mengikuti standarisasi. Oleh karena itu dalam pembuatan maupun pengembangan sistem SCADA harus mengacu pada standar tersebut.

Saat ini telah disepakati standar untuk protokol komunikasi antara lain sebagai berikut:

1. IEC 60870-5-101
2. IEC 60870-5-103
3. IEC 60870-5-104
4. IEC 61850

2.7.1 Fungsi Utama Sistem SCADA

Fungsi-fungsi utama Sistem SCADA adalah:

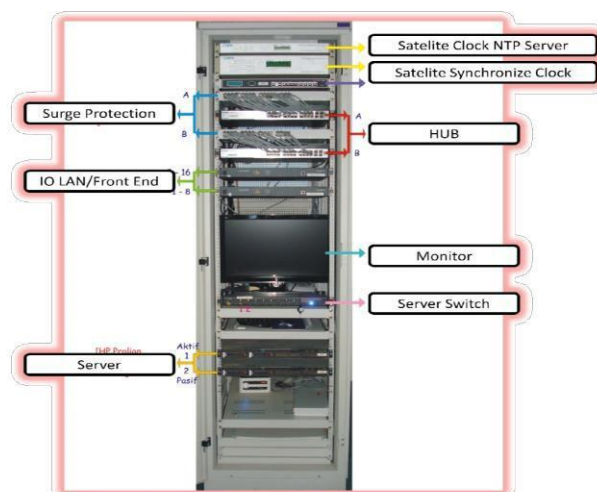
1. Akuisisi data yang mana merupakan proses penerimaan data dari peralatan di lapangan.
2. Konversi data, yang mana merupakan proses konversi data-data dari lapangan ke dalam format standar.
3. Pemrosesan data, yang mana menganalisa data yang diterima untuk dilaporkan kepada operator.

4. *Supervisory control*, yang memungkinkan operator untuk melakukan pengendalian pada peralatan-peralatan di lapangan.
5. *Tagging*, yang memungkinkan operator untuk meletakkan informasi tertentu pada peralatan tertentu. Ini adalah sebagai alat bertukar informasi sesama operator/pemakai sistem SCADA.
6. Pemrosesan *alarm* dan *event*, yang menginformasikan kepada operator apabila ada perubahan di dalam sistem.
7. *Post mortem review*, yang membantu menentukan akibat pada sistem jika ada gangguan besar pada jaringan. (Panjaitan, Bonar. 1999).

2.7.2 Komponen – komponen pada Sistem SCADA

1. Master Station

Master station berfungsi sebagai pusat pengatur seluruh sumber daya sistem seperti data-data yang dikomunikasikan dari masing-masing RTU. Aplikasi server bekerja menggunakan windows server, dan database sehingga mampu menyediakan kontrol manajemen untuk akses secara berurutan, dengan banyak client, dalam membagi informasi. Bagian terpenting dari arsitektur ini memungkinkan kesempatan yang sama bagi banyak client untuk mengakses single database.



Gambar 2.9 INTRANET storage, I/O LAN, server, main radio dan monitor



Master Station terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: *Main Komputer* (server), *Human Machine Interface* (HMI), *WS Programing* dan peripheral lainnya yang terdiri dari dua buah yang berfungsi sebagai *redundant master/slave*, sehingga akan tetap beroperasi meskipun komputer master terjadi gangguan.

Fungsi utama dari main komputer adalah:

1. Mengatur komunikasi antara dirinya sendiri dengan RTU.
2. Mengirim dan menerima data dari RTU kemudian menterjemahkannya ke dalam bentuk informasi yang dapat dimengerti oleh user.
3. Mendistribusikan informasi tersebut ke MMI, *Mimic Board* dan *Printer Logger* dan mendokumentasikan informasi tersebut.

2. RTU

Remote Terminal Unit (RTU) adalah mikroprosesor yang bertugas melakukan scanning, pengolahan dan penyimpanan data di memori sementara sebelum diminta oleh pusat kendali dan melakukan aksi atau perintah sesuai permintaan dari pusat kendali. Fungsi RTU antara lain :

a. Pembacaan status

Yaitu membaca status pemutus tenaga (*circuit breaker*), LBS atau PMCB yang terhubung kepadanya apakah CB, PMCB, atau LBS itu terbuka atau tertutup atau invalid, selain itu RTU juga dapat melakukan pembacaan status alarm, seperti temperatur RTU, HFD (*Homopolar Fault Detector*), *DC fault*, *AC fault* dan lainnya.

b. Pengukuran dan perhitungan.

RTU mengambil dan memroses data tentang nilai arus maupun tegangan yang didapat dari *transducer* yang dihubungkan kepadanya.

c. Penyesuaian waktu

RTU menerima setting waktu dari MTU sehingga waktu RTU akan menjadi sama dengan waktu pada *master clock* di MTU

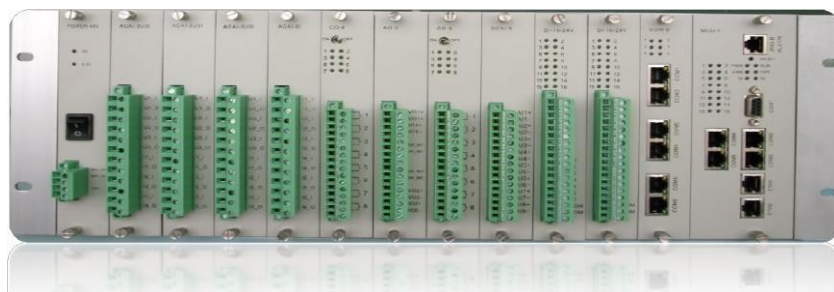
d. Pelaksanaan Komando

RTU akan melaksanakan perintah untuk membuka atau menutup PMCB / LBS yang terhubung kepadanya.

e. Mengirim data ke pusat kendali

Data-data tersebut adalah status saklar, hasil eksekusi jarak jauh, dan besar tegangan, arus, atau frekuensi

Jenis RTU yang dipakai oleh PT PLN Palembang adalah RTU Dongfang yang dikembangkan sejak tahun 1982 dengan nama DCF-5, hingga sekarang dikenal dengan jenis DF1725IED. RTU memberi banyak keuntungan karena konfigurasi yang fleksibel, bekerja stabil dalam waktu yang panjang, dapat ditingkatkan teknologinya. Perangkat keras yang terstandarisasi baik pada modul I/O, dan beberapa peralatan lain yang dibutuhkan. Struktur yang terbuka dengan berbagai aplikasi untuk pengaturan tegangan menengah (TM) baik pada gardu hubung (GH) maupun pada penyulang.



Gambar 2.10 Antar muka RTU DF 1725IED beserta modul-modul I/O

Pada gambar diatas terdapat MCU, yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data IED, tempat berjalannya protokol, tempat pengiriman data ke *master station*. Terdapat juga modul CO yang berfungsi sebagai keluaran digital ketika melakukan telekontrol untuk melakukan perintah buka/ tutup *load break switch (LBS)* ataupun *dummy breaker*. Terdapat digital input pada modul DI yang berfungsi untuk memberikan informasi status informasi dari peralatan yang dikendalikan untuk dikirimkan datanya melalui MCU.



3. Power Suplay

Power suplay atau *rectifier* digunakan untuk keperluan catu daya pada peralatan Remote Kontrol (RTU, Radio, LBS Motorise, PMCB) digunakan penyearah tegangan/*rectifier* untuk menyearahkan tegangan bolak-balik menjadi tagangan arus searah. Rectifier menyediakan tiga output tegangan 5V, 12V dan 24V dc, tegangan 5V dipergunakan untuk catu daya RTU, 12V untuk radio dan 24V untuk *auxiliary* relay dan LBS motorise. Selain untuk keperluan tersebut *rectifier* juga berguna untuk mengisi/*charge* batere.

4. Subsistem Telekomunikasi Data

Untuk menghubungkan dua perangkat yaitu komputer di pusat kendali dengan *Remote Terminal Unit* diperlukan subsistem komunikasi sehingga dua perangkat tersebut dapat saling komunikasi satu dengan yang lain. Apabila dua perangkat sudah terhubung dan dapat berkomunikasi pusat kendali (*master station*) dapat melakukan perintah seperti membuka / menutup LBS / PMT melalui *Remote Terminal Unit* perintah tersebut dapat dieksekusi. *Remote Terminal Unit* dapat melakukan pengiriman status *switch*, alarm dan data pengukuran ke pusat kendali apabila terdapat subsistem komunikasi yang baik yang terdiri dari komponen utama yaitu : media komunikasi, modem (*Modulator Demodulator*), protokol komunikasi, dll. Media komunikasi merupakan sarana fisik yang menghubungkan RTU dengan master station meliputi : *Pilot Cable* (Kabel Kendali), Radio Link.

Di PT PLN (Persero) Palembang, jaringan komunikasi antara RTU dengan master station menggunakan protokol komunikasi IEC60870-5-101 yaitu berupa kanal radio melalui antarmuka COM/ port serial pada RTU, dan IEC60870-5-104 dengan kanal yang berbeda menggunakan antarmuka ethernet. Radio data yang digunakan menggunakan frekuensi 374,050 Mhz dan 379,050 Mhz dengan aturan half-duplex dan antena yagi yang bekerja pada kisaran frekuensi 370-400 Mhz.

2.7.3 Software SCADA

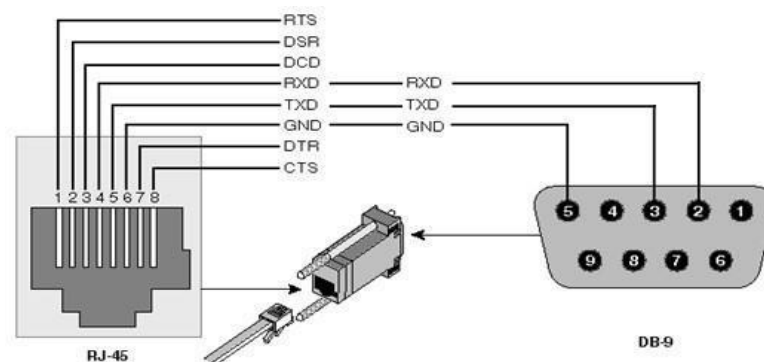
Sistem SCADA di APD Palembang menggunakan software DF8000, secara umum dapat berfungsi untuk mengintegrasikan proses analisis, simulasi, dan

operasi, transmisi, dan distribusi. DF8000 memberikan fungsi supervisi dan kendali, analisis jaringan, keamanan dan instruksi operasi secara ekonomi, manajemen informasi dispatch, simulator pelatihan dispatcher, dan integrasi platform dengan software third party dan komunikasi antara control center lainnya.

DF8000 dikembangkan dibawah kualitas dengan menggunakan keandalan yang tinggi sebagai software sistem otomatis daya listrik tingkat dunia. DF8000 dikembangkan sebagai sebuah modul dan arsitektur client-server. Integrasi solusi

DF8000 bekerja secara waktu-nyata pada sistem manajemen kecerdasan kelistrikan untuk memonitor, mengendalikan, simulasi, dan optimasi operasi dari sistem kelistrikan.

2.7.4 Protokol Antarmuka IEC 101 dan IEC 104



Gambar 2.11 *Wiring straight* dari Port Ethernet ke Port Serial

Standar komunikasi dasar untuk melakukan telekontrol adalah komunikasi serial RS-232. Komunikasi serial ini dikenal sebagai protokol IEC 101 pada *application layer* untuk membentuk akses jaringan antara *master station* dengan RTU. Karakteristik dari komunikasi ini pada *application layer* adalah *data acquisition by polling* yang bekerja untuk transmisi tidak seimbang. Transmisi tidak seimbang artinya sebuah kanal/frekuensi yang sama dipakai untuk semua jalur komunikasi RTU sehingga perlu aturan dalam penggunaan kanal tersebut pada Front End Processor (FEP) yang dimanfaatkan master Station.