

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

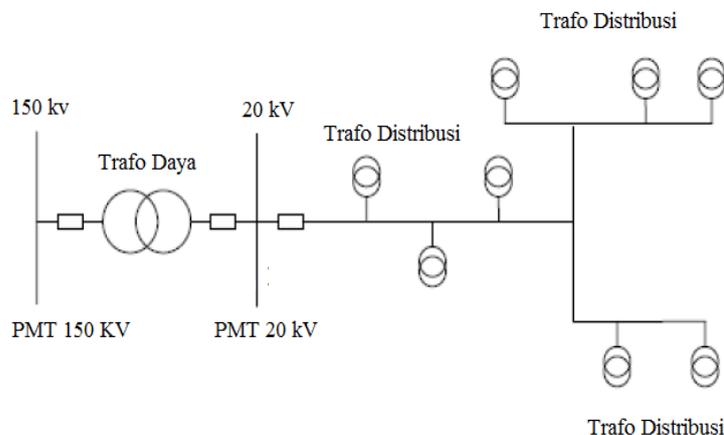
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik^[5]

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri atas sistem pembangkit, transmisi dan distribusi. Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada konsumen. Sistem distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan kerja diatas 1 kV dan setinggi - tingginya 35 kV. Jaringan distribusi tegangan menengah berawal dari Gardu Induk, pada beberapa tempat berawal dari pembangkit listrik. Bentuk jaringan dapat berbentuk radial atau tertutup (*radial open loop*).

Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (Primer 20 kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu jaringan radial, jaringan hantaran penghubung (*tie line*), jaringan lingkaran (*loop*), jaringan spindel dan sistem gugus atau kluster.

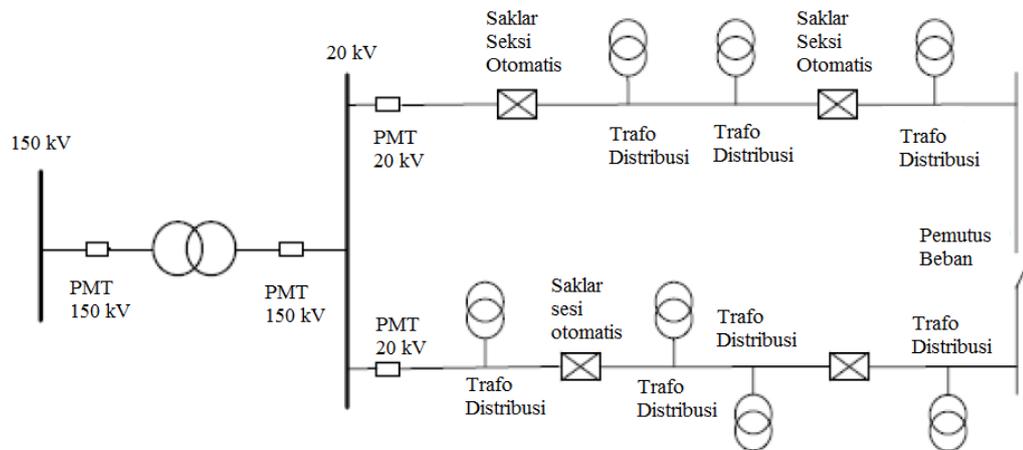
2.1.1 Sistem Radial

Merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini jaringan hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik dan terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.



Gambar 2.1 Skema Saluran Sistem Radial^[5]

^[5]Mustika, Fithia Ezra. 2014. *Analisa Penggunaan Gardu Sisipan Pada Penyulang Domba Di Gardu I. 1015 Dengan Software Etap Di PT. PLN Rayon Rivai Palembang*. Laporan Akhir, Politeknik Negeri Sriwijaya. Tidak Diterbitkan, Halaman 8.

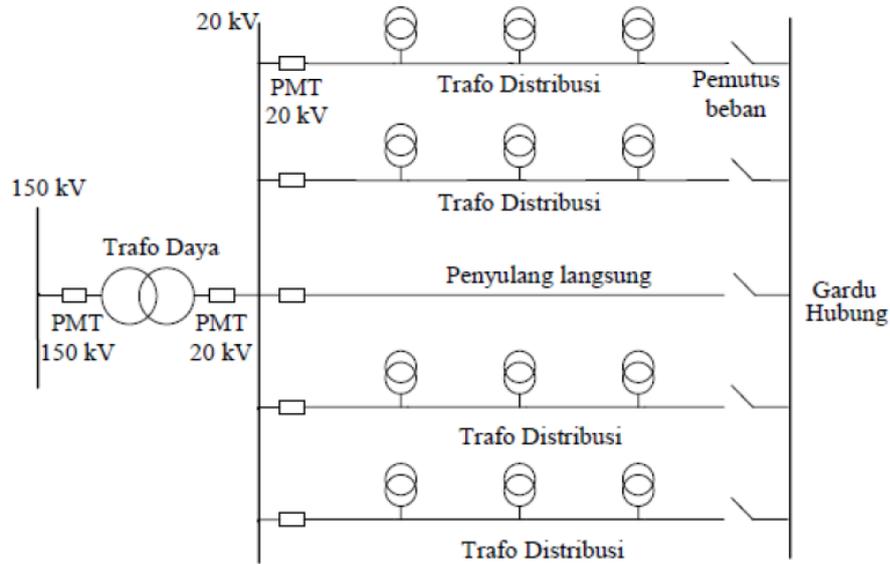
Gambar 2.3 Skema Saluran Sistem *Loop*^[5]

2.1.4 Sistem *Spindle*

Sistem *spindle* menggunakan 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back-up supply* jika terjadi gangguan pada penyulang operasi, sehingga sistem ini tergolong sistem yang handal. dalam pembangunannya. Sistem ini sudah memperhitungkan perkembangan beban atau penambahan jumlah konsumen sampai beberapa tahun ke depan, sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama, hanya saja investasi pembangunannya juga lebih besar. proteksinya masih sederhana, mirip dengan sistem *loop*. pada bagian tengah penyulang biasanya dipasang gardu tengah yang berfungsi sebagai titik manufer ketika terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep *spindle* jumlah penyulang pada 1 *spindle* adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi *spindle* penuh adalah 85%. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).

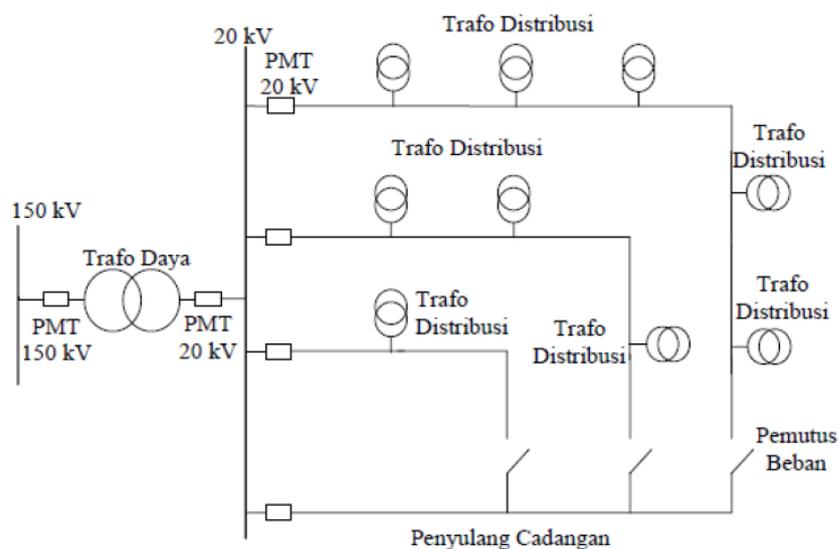
^[5]Ibid, Halaman 9.



Gambar 2.4 Skema Saluran Sistem *Spindle*^[5]

2.1.5 Sistem Cluster

Sistem ini mirip dengan sistem *spindle*. bedanya pada sistem *cluster* tidak digunakan gardu hubung atau gardu *switching*, sehingga *express feeder* dari gardu hubung ke tiap jaringan *express feeder* ini dapat berguna sebagai titik manufer ketika terjadi gangguan pada salah satu bagian jaringan.



Gambar 2.5 Skema Saluran Sistem *Cluster*^[5]

^[5]Ibid, Halaman 10 - 11.



2.2 Gangguan^[2]

Salah satu faktor yang mempengaruhi keandalan sistem adalah masalah gangguan, baik yang terjadi pada peralatan maupun yang terjadi pada sistem. Definisi gangguan adalah terjadinya suatu kerusakan didalam sirkuit listrik yang menyebabkan aliran arus dibelokkan dari saluran yang sebenarnya.

2.2.1 Penyebab Gangguan

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

2.2.1.1 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.

2.2.1.2 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.

2.2.1.3 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.

2.2.2 Akibat Gangguan

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

2.2.2.1 Beban Lebih

Pada saat terjadi gangguan maka sistem akan mengalami keadaan kelebihan beban karena arus gangguan yang masuk ke sistem dan mengakibatkan

^[2]Khumairah, Mastura. 2013. *Gangguan Pada Sistem Distribusi*. (<http://elektro-unimal.blogspot.com/2013/06/gangguan-pada-sistem-distribusi.html>, diakses pada 08 Maret 2015, pukul 16.00 WIB).



sistem menjadi tidak normal, jika dibiarkan berlangsung dapat membahayakan peralatan sistem.

2.2.2.2 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.

2.2.2.3 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*.

2.2.2.4 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^[10]

Gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada sistem kelistrikan adalah, sebagai berikut :

- Gangguan hubung singkat 3 fasa
- Gangguan hubung singkat 2 fasa
- Gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah.

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

^[10]Sarimun, Wahyudi. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Bekasi : Garamond. Halaman 155.



$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.1)^{10}$$

Keterangan :

I = Arus yang mengalir pada hambatan (A)

V = Tegangan sumber (V)

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

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa dan gangguan hubung singkat lainnya adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan. Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini :

Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z_1$

Z untuk gangguan dua fasa, $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

Keterangan :

Z_1 = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (Ω)

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)

Sedangkan daya hubung singkat pada busbar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$MVA_{sc} = \sqrt{3} \times V \times I_{sc} \dots\dots\dots (2.2)^{10}$$

Keterangan :

S_{sc} = Daya hubung singkat (VA)

V = Tegangan (V)

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)

¹⁰⁾Ibid., Halaman 121 dan 164.



2.3.1 Menghitung Impedansi^[1]

Dalam menghitung impedansi pada relay arus lebih dikenal 3 macam impedansi urutan 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.

2.3.1.1 Impedansi Sumber^[1]

Menghitung impedansi sumber di sisi busbar sekunder, maka harus dihitung dahulu impedansi sumber busbar di sisi primer. Impedansi sumber di sisi primer diperoleh dengan rumus :

$$X_s(\text{pri}) = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.3)^{10}$$

Keterangan :

$X_s(\text{pri})$ = Impedansi sumber busbar (Ω)

kV = Tegangan pada sisi primer busbar (kV)

MVA = Data hubung singkat di busbar primer (MVA)

Arus gangguan hubung singkat di sisi sekunder diperoleh dengan cara mengkonversikan dahulu impedansi sumber di busbar sisi primer ke sisi sekunder. Untuk mengkonversikan Impedansi yang terletak di sisi primer ke sisi sekunder, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_s \text{ sek} = \frac{kV^2 (\text{sek})}{kV^2 (\text{pri})} \times X_s (\text{pri}) \dots\dots\dots (2.4)^{10}$$

Keterangan :

$X_s \text{ sek}$ = Impedansi sumber busbar sisi sekunder (Ω)

^[1]K. Pribadi dan Wahyudi S.N. Perhitungan setting dan Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi : PT PLN (Persero). Halaman 2.

^[10]Sarimun, Wahyudi. Op.Cit., Halaman 164 dan 166.



Xs (pri) = Impedansi sumber busbar sisi primer (Ω)

kV (pri) = Tegangan pada sisi primer busbar (kV)

kV (sek) = Tegangan pada sisi sekunder busbar (kV)

2.3.1.2 Impedansi Transformator^[1]

Pada perhitungan impedansi suatu trafo yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam Ω dihitung dengan cara, sebagai berikut .

Langkah pertama mencari nilai Ω pada 100% untuk trafo pada sisi sekunder, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2 \text{ (sisi sekunder)}}{MVA \text{ Trafo}} \dots\dots\dots (2.5)^{10}$$

Keterangan :

Xt = Impedansi trafo tenaga (Ω)

kV = Tegangan sisi sekunder trafo daya (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo daya (MVA)

Lalu tahap selanjutnya, yaitu mencari nilai reaktansi tenaga. Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_{t1} = Z (\%) \times X_t \text{ (pada 100\%)} \dots\dots\dots (2.6)^{10}$$

Keterangan :

Xt₁ / Xt₂ = Reaktansi urutan positif dan negatif (Ω)

Z (%) = Impedansi yang diketahui (Terdapat pada *name plate* trafo)

Xt = Nilai Ω pada 100 % panjang penyulang

^[1]K. Pribadi dan Wahyudi S.N. Op.Cit., Halaman 4.

^[10]Sarimun, Wahyudi. Op.Cit., Halaman 166.



Kemudian selanjutnya, yaitu mencari nilai reaktansi tenaga. Untuk menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_{t0} = 3 \times X_{t1} / X_{t2} \dots\dots\dots (2.7)^{10}$$

Keterangan :

X_{t0} = Reaktansi urutan nol (Ω)

Z (%) = Impedansi yang diketahui (Terdapat pada name plate trafo)

X_{t1} / X_{t2} = Reaktansi urutan positif dan negative (Ω)

2.3.1.3 Impedansi Penyulang^[1]

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari jenis bahan penghantar dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya.

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

$$Z = (R + jX) \dots\dots\dots (2.8)^{10}$$

Keterangan :

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 :

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

^[1]K. Pribadi dan Wahyudi S.N. Op.Cit., Halaman 4.
^[10]Sarimun, Wahyudi. Op.Cit., Halaman 167.



Keterangan :

Z_1 / Z_2 = Impedansi urutan positif dan negatif (Ω)

Data Z_1 = Impedansi kawat penghantar (Ω)

Sedangkan untuk persentase lokasi gangguan pada penyulang, impedansi urutan positif dan negatif dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Z_1 / Z_2 = (\%) \text{ gangguan} \times Z_1 \dots\dots\dots (2.10)^1$$

Keterangan :

Z_1 / Z_2 = Impedansi urutan positif dan negatif (ohm)

(%) gangguan = Asumsi lokasi gangguan yang terjadi

Z_1 = Total impedansi kawat penghantar (Ω)

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

$$Z_0 = \text{panjang penyulang (kms)} \times \text{data } Z_0 \dots\dots\dots (2.11)^{10}$$

Keterangan :

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)

Data Z_0 = Impedansi kawat penghantar (Ω)

Sedangkan untuk persentase lokasi gangguan pada penyulang, impedansi urutan positif dan negatif dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Z_0 = (\%) \text{ gangguan} \times Z_0 \dots\dots\dots (2.12)^1$$

Keterangan :

Z_0 = Impedansi urutan nol (Ω)

(%) gangguan = Asumsi lokasi gangguan yang terjadi

Z_0 = Total impedansi kawat penghantar (Ω)

^[1]K. Pribadi dan Wahyudi S.N. Op.Cit., Halaman 5.
^[10]Sarimun, Wahyudi. Op.Cit., Halaman 167.



2.3.1.4 Impedansi Ekivalen Penyulang^[1]

Perhitungan yang akan dilakukan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen positif dan negatif. Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan Z_{1eq} / Z_{2eq} dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke transformator tenaga yang netralnya ditanahkan, sehingga untuk impedansi ekivalen penyulang dari Gardu Induk sampai Gardu Hubung, dapat dihitung dengan menggunakan rumus, sebagai berikut :

$$Z_{1eq} / Z_{2eq} = \{ \% R_{1jar} + j (X_{sc(sisi\ 20kv)} + X_{t1} + \% X_{1jar}) \} \dots\dots\dots (2.13)^{10}$$

Keterangan :

- Z_{1eq} = Impedansi ekivalen penyulang urutan positif (Ω)
- Z_{2eq} = Impedansi ekivalen penyulang urutan negatif (Ω)
- $\% R_{1jar}$ = Resistansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)
- $X_{sc(sisi\ 20kv)}$ = Impedansi trafo di busbar sekunder 20kV(Ω)
- X_{t1} = Reaktansi trafo urutan positif (Ω)
- $\% X_{1jar}$ = Reaktansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)

Untuk impedansi ekivalen Z_{1eq} / Z_{2eq} dari Gardu Hubung sampai Ujung Pengiriman, dapat dihitung dengan menggunakan rumus, sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
Z_{1eq} / Z_{2eq} &= \{ R_{1jar} + j (X_{sc(sisi\ 20kv)} + X_{t1} + X_{1jar}) \} \\
&= (R_{1jar\ GI-GH} + \% R_{1jar\ GH-Ujung}) + j (X_{sc(sisi\ 20kv)} + X_{t1} + \\
&\quad X_{1jar\ GI-GH} + \% X_{1jar\ GH-Ujung}) \dots\dots\dots (2.14)^{10}
\end{aligned}$$

Keterangan :

- Z_{1eq} = Impedansi ekivalen penyulang urutan positif (Ω)
- Z_{2eq} = Impedansi ekivalen penyulang urutan negatif (Ω)

^[1]K. Pribadi dan Wahyudi S.N. Op.Cit., Halaman 6.
^[10]Sarimun, Wahyudi. Op.Cit., Halaman 186.



- $R_{Ijar\ GI-GH}$ = Resistansi penyulang Gardu Induk sampai Gardu Hubung (Ω)
- $\% R_{Ijar\ GH-Ujung}$ = Resistansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)
- $X_{SC(sisi\ 20kv)}$ = Impedansi trafo di busbar sekunder 20 kV(Ω)
- X_{t1} = Reaktansi trafo urutan positif (Ω)
- $X_{Ijar\ GI-GH}$ = Reaktansi penyulang Gardu Induk sampai Gardu Hubung (Ω)
- $\% X_{Ijar}$ = Reaktansi penyulang titik gangguan tertentu (Ω)

Untuk menghitung Impedansi ekivalen Z_{0eq} pada penyulang dapat dihitung dengan menggunakan rumus, sebagai berikut :

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3 R_n + Z_{0penyulang} \dots \dots \dots (2.15)^1$$

Keterangan:

- Z_{0eq} = Impedansi ekivalen penyulang urutan nol (Ω)
- Z_{t0} = Reaktansi urutan nol (Ω)
- R_n = Tahanan NGR (*netral ground relay*) (Ω)
- $Z_{0penyulang}$ = Impedansi urutan nol pada penyulang (Ω)

Untuk impedansi ekivalen Z_{0eq} dari Gardu Hubung sampai Ujung Pengiriman, dapat dihitung dengan menggunakan rumus, sebagai berikut :

$$Z_{0eq} = (3 \cdot R_n + R_{0\ jar\ GI-GH} + \%R_{0\ jar\ GH-Ujung}) + j (X_{t0} + X_{0\ jar\ GI-GH} + \%X_{0\ jar\ GH-Ujung}) \dots \dots \dots (2.16)^1$$

Keterangan :

- Z_{0eq} = Impedansi ekivalen urutan nol (Ω)
- R_n = Tahanan NGR (*netral ground relay*) (Ω)
- $R_{0\ jar\ GI-GH}$ = Impedansi (nilai R_0) urutan nol GI-GH (Ω)
- $\%R_{0\ jar\ GH-Ujung}$ = Impedansi (nilai $\%R_0$) urutan nol GI-Ujung (Ω)

^[1]K. Pribadi dan Wahyudi S.N. Op.Cit., Halaman 8 dan 30.

X_{t0} = Reaktansi trafo daya urutan nol (Ω)

$X_{0\text{ jar GI-GH}}$ = Impedansi (nilai X_0) urutan nol GI-GH (Ω)

$\% X_{0\text{ jarGH-Ujung}}$ = Impedansi (nilai $\% X_0$) urutan nol GI-Ujung (Ω)

2.3.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat^[10]

Perhitungan arus gangguan hubung singkat yang diperlukan untuk melakukan penyetelan relay arus lebih, yaitu arus hubung singkat 3 fasa, untuk arus lebih ($I>$) lokasi gangguan diasumsikan 1% di depan GI / GH, sedangkan untuk arus lebih seketika (*moment*) lokasi gangguan diasumsikan 40% - 60% di depan GI / GH. Berikut persamaan yang digunakan untuk menentukan arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah :

- Arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

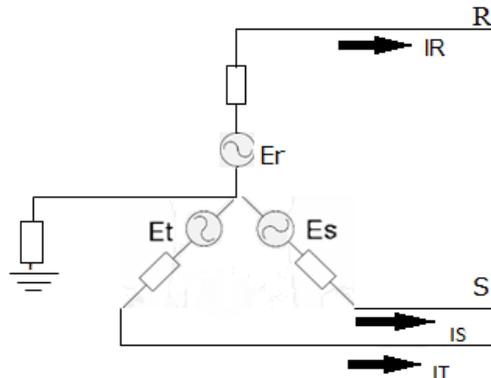
$$I_f 3 \square = \frac{V_{ph-n}}{Z_{1eq} \text{ atau } Z_{2eq}} \dots\dots\dots (2.17)^{10}$$

Keterangan :

$I_f 3 \square$ = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa (A)

V_{ph-n} = Tegangan fasa - netral sistem 20 kV = $\frac{20.000}{\sqrt{3}}$ (V)

Z_{1eq} atau Z_{2eq} = Impedansi ekivalen urutan positif atau negatif (Ω)



Gambar 2.6 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa^[4]

^[4]Marco. 1999. *Koordinasi Relay OCR dan OCN antara PMCB Sei Dua dan Outgoing Penyulang Tenggara Gardu Induk Sungai Kedukan*. Laporan Kerja Praktek, Universitas Diponegoro : Tidak diterbitkan. Halaman 22.

^[10]Sarimun, Wahyudi. *Op.Cit.*, Halaman 185 - 186.

- Arus gangguan hubung singkat 2 fasa, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

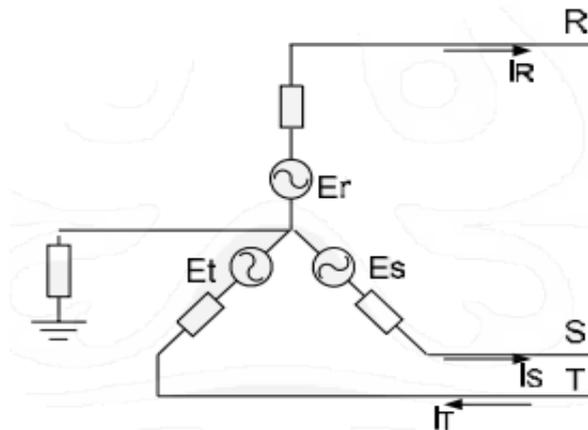
$$I_{f\ 2\phi} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}} \dots\dots\dots (2.18)^{10}$$

atau

$$I_{f\ 2\phi} = \frac{I_{f\ 3\phi} \times \sqrt{3}}{2} \dots\dots\dots (2.19)^{10}$$

Keterangan :

- $I_{2\ \phi}$ = Arus Gangguan Hubung Singkat 2 fasa (A)
- V_{ph-ph} = Tegangan fasa - fasa sistem 20 kV (20000 V)
- Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ω)
- $I_{f\ 3\phi}$ = Arus hubung singkat 3 fasa (A)



Gambar 2.7 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa^[4]

- Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{f\ 1\ \phi} = \frac{3 \cdot V_{ph} \cdot \sqrt{3}}{(2 \cdot Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \dots\dots\dots (2.20)^{10}$$

Keterangan :

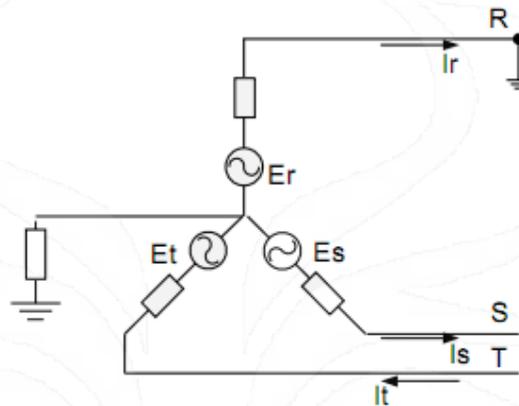
- $I_{f1\ \phi}$ = Arus Gangguan Hubugn Singkat satu fasa ke tanah

^[4]Marco. 1999. Op.Cit., Halaman 22.
^[10]Sarimun, Wahyudi. Op.Cit., Halaman 187.

V_{ph} = Tegangan fasa – netral sistem 20 kV = $\frac{20.000}{\sqrt{3}}$ (V)

Z_{1eq} = Impedansi urutan positif (Ω)

Z_{0eq} = Impedansi untuk arus gangguan 1 fasa ke tanah (Ω)



Gambar 2.8 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ketanah^[4]

2.4 Sistem Proteksi^[4]

Sistem proteksi merupakan sistem pengamanan yang terpasang pada sistem distribusi tenaga listrik, trafo tenaga transmisi tenaga listrik dan generator listrik. Hal ini dipergunakan untuk mengamankan sistem tenaga listrik dari gangguan listrik atau beban lebih, dengan cara memisahkan bagian sistem tenaga listrik yang terganggu, sehingga sistem kelistrikan yang tidak terganggu dapat terus bekerja (mengalirkan arus ke beban).

2.4.1 Fungsi Sistem Proteksi

Adapun fungsi dari sistem proteksi antara lain :

- Memisahkan bagian sistem yang terganggu, sehingga bagian sistem lainnya yang tidak terganggu dapat terus beroperasi sebagaimana mestinya.
- Untuk dapat memberikan pelayanan listrik kepada konsumen dengan tingkat keandalan dan mutu yang tinggi.
- Memperkecil bahaya bagi manusia yang ditimbulkan oleh listrik.

^[4]Marco. 1999. Op.Cit., Halaman 55 dan 23.



2.5 Relay Proteksi^[9]

Relay proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan tenaga listrik dan segera otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem tenaga listrik yang terganggu dan memberikan isyarat berupa lampu atau bel.

Relay proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran - besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu, dalam membuka pemutus tenaga. Fungsi relay proteksi pada sistem tenaga listrik :

- Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi normal.
- Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- Mengurangi pengaruhnya gangguan terhadap bagian sistem yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- Memperkecil bahaya bagi manusia.

Hal - hal yang dapat menimbulkan kegagalan pengaman sebagai berikut :

- Kegagalan pada relay itu sendiri.
- Kegagalan *supply* arus dan tegangan ke relay tegangannya rangkaian *supply* ke relay dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
- Kegagalan sistem *supply* arus searah untuk tripping pemutus tenaga. Hal yang dapat menyebabkannya antara lain baterai lemah karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkat rangkaian arus searah.

^[9]Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Palembang : Unsri. Halaman 3.

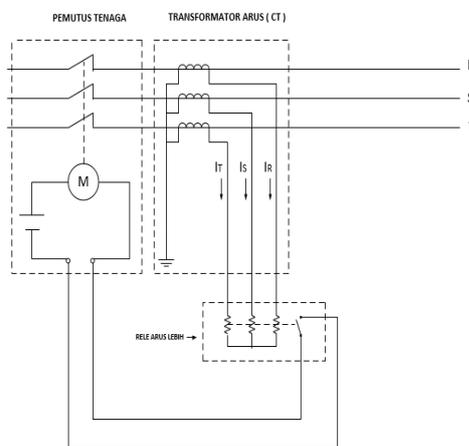
2.5.1 Relay Arus lebih (*Over Current Relay*)^[14]

Relay arus lebih adalah suatu relay yang bekerja didasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. Keuntungan dan fungsi relay arus lebih :

- Sederhana dan murah.
- Mudah penyetelannya.
- Merupakan relay pengaman utama dan cadangan.

Mengamankan gangguan hubung singkat antara fasa maupun hubungan singkat satu fasa ke tanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (*overload*).

- Pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi radial.
- Pengamanan cadangan untuk generator, trafo tenaga dan saluran transmisi.



Gambar 2.9 Rangkaian Pengawatan Relay Arus Lebih^[4]

2.5.2 Karakteristik Relay Arus Lebih^[14]

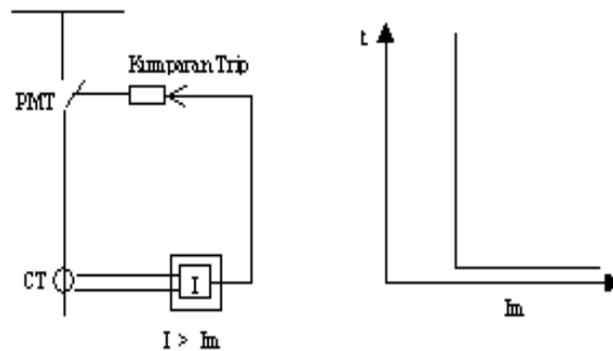
2.5.2.1 Relay Arus Lebih Seketika (*Moment*)

Relay arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika (*moment*) adalah jika jangka waktu relay mulai saat relay arusnya *pick up* sampai selesainya

^[4]Marco. 1999. Op.Cit., Halaman 10.

^[14]Taqiuddin Alawly, Muhammad. 2006. *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Universitas Islam Malang : Tidak diterbitkan. Halaman 20.

kerja relay sangat singkat ($20 \leq 100$ ms) yaitu tanpa penundaan waktu. Relay ini umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) atau waktu terbalik (*inverse time*) dan hanya dalam beberapa hal terdiri sendiri secara khusus.



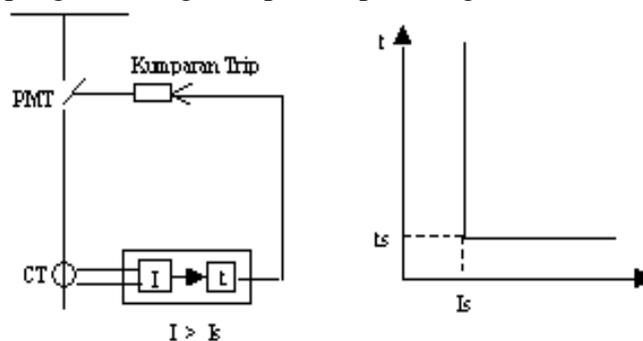
Gambar 2.10 Karakteristik Relay Waktu Seketika^[4]

2.5.2.2 Relay Arus Lebih Karakteristik Waktu Tertentu (*Definite Time*)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT (Pemutus Tenaga) 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.



Gambar 2.11 Karakteristik Relay Waktu Tertentu^[4]

^[4]Ibid., Halaman 11 - 12.

2.5.2.3 Relay Arus Lebih Karakteristik Waktu Terbalik (*Inverse Time*)

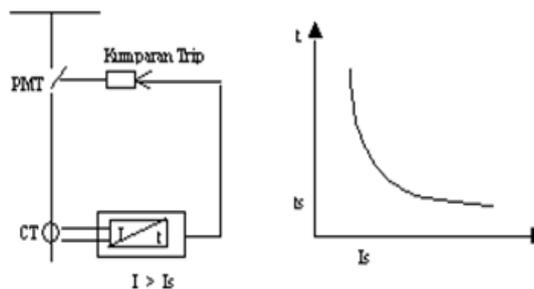
Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya.

Keuntungan dan kerugian karakteristik relay ini adalah :

- Perlu perhitungan yang teliti terutama untuk kapasitas pembangkit yang berubah - ubah.
- Sebagai pengaman banyak saluran, *inverse time* dapat menekan akumulasi waktu, yang dapat memberikan pengamanan yang cepat baik diujung maupun didekat sumber.
- Sensitif terhadap perubahan pembangkit.

Karakteristik ini bermacam - macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda - beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok, yaitu :

- *Standar invers*
- *Very inverse*
- *Extremely inverse*



Gambar 2.12 Karakteristik Relay Waktu Terbalik^[4]

Karena ada kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka arus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (*Back Up Protection*).

Dengan demikian pengaman menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian, yaitu :

^[4]Ibid., Halaman 13.



- Pengaman utama yang pada umumnya selektif dan cepat dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya relay diferensial.
- Pengaman cadangan, umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama bekerja terlebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan relay ini tidak seselektif pengaman utama.

2.5.3 Penyetelan Relay Arus Lebih^[10]

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 :

2.5.3.1 Penyetelan Arus^[10]

Dalam penyetelan arus rumus yang digunakan setelan arus untuk relay arus lebih pada jaringan distribusi, adalah sebagai berikut :

$$I_{set} (pri) = 1.05 \times I_{beban} \dots\dots\dots(2.21)^{10}$$

Keterangan :

$I_{set} (pri)$ = I setting pada sisi primer trafo (A)

1,05 = Konstanta

I_{beban} = Arus beban puncak (A)

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 :

$$I_{set} (sek) = I_{set} (pri) \times \frac{1}{Ratio CT} \dots\dots\dots(2.22)^{10}$$

^[10]Sarimun, Wahyudi. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Bekasi : Garamond. Halaman 190 - 191.



Keterangan :

I set (sek) = Arus setting pada sisi sekunder trafo (A)

I set (pri) = Arus setting pada sisi primer trafo (A)

$\frac{1}{\text{Ratio CT}}$ = Ratio CT yang digunakan $\frac{300}{5}$

2.5.3.2 Penyetelan *Time Multiple Setting* (TMS)^[10]

Setelan *time multiple setting* (TMS) pada relay arus lebih pada jaringan distribusi mempergunakan *standar invers*, yang dihitung mempergunakan rumus berikut :

$$\text{TMS} = \frac{t \frac{I_f^{0.02}}{I_s} - 1}{0.14} \dots\dots\dots (2.23)^{10}$$

Keterangan :

TMS = *Time Multiple Setting/ Time dial*

I_f = Arus gangguan pada titik gangguan tertentu (A)

I_s = Arus setting pada relay (A)

t = Waktu operasi (detik)

Sedangkan untuk mengetahui waktu operasi relay arus lebih, dalam mengatasi gangguan, adalah sebagai berikut :

$$t = \frac{0,14 \times \text{TMS}}{\frac{I_f^{0.02}}{I_s} - 1} \dots\dots\dots (2.24)^{10}$$

Keterangan :

t = Waktu operasi (detik)

TMS = *Time Multiple Setting*

I_f = Arus gangguan pada titik gangguan tertentu (A)

I_s = Arus setting pada relay (A)

^[10]Ibid., Halaman 191 - 193.

2.6 PMCB (*Pole Mounted Circuit Breaker*)^[15]

PMCB (*Pole Mounted Circuit Breaker*) adalah sistem pengamanan pada tiang portal dengan tegangan menengah 20 kV, yang dipasang ditengah jaringan, atau ditengah daerah yang sering mengalami gangguan. PMCB memiliki komponen proteksi berupa rele yang berkoordinasi dengan trafo arus (*Current Transformer*), sehingga PMCB berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, serta pelaksanaan pemeliharaan (gangguan terencana).



Gambar 2.13 *Pole Mounted Circuit Breaker*

2.6.1 Cara Kerja PMCB^[3]

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

2.6.1.1 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.

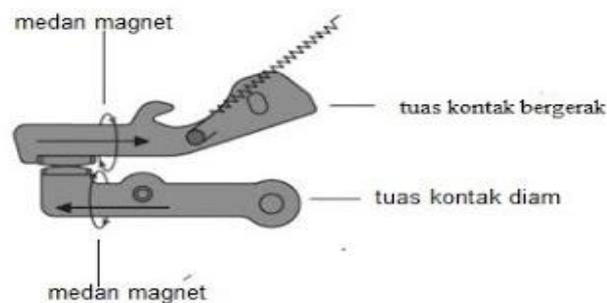
^[3]Lestari, Ayu Delta. 2010. *Cara Kerja PMCB*. (<https://www.scribd.com/doc/202775909/Cara-Kerja-PMCB>, diakses pada 20 April 2015, pukul 19.18 WIB).

^[15]Ucol, Hawatif M. 2009. *PMCB (Pole Mounted Circuit Breaker)*. (<https://www.scribd.com/doc/204774215/tinjauan-pustaka>, diakses pada 13 Maret 2015, pukul 09.45 WIB).

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 memerintahkan 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.

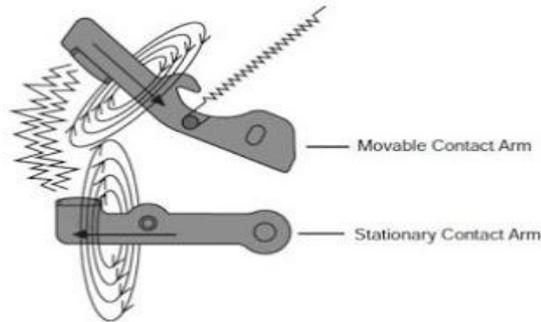
Sistim PMCB bekerja dengan prinsip apabila ada arus yang berlebih akan menimbulkan medan elektro magnet yang akan menarik tuas penghubung terminal sehingga hubungan antar terminal terputus pada VCB *Motorized*.



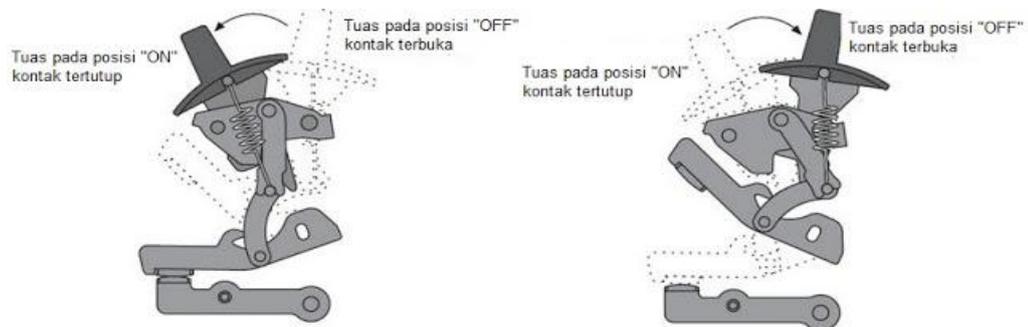
Gambar 2.14 PMCB dengan media VCB *Motorized*^[3]

Perhatikan gambar 2.14. 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 magnet pun 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 2.15.

^[3]Lestari, Ayu Delta. Loc.Cit.

Gambar 2.15 Pergerakan Tuas PMCB dengan media VCB *Motorized*^[3]

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

Gambar 2.16 Tuas PMCB dalam posisi terbuka (*open*)^[3]

2.6.1.2 Cara Kerja PMCB Secara Manual

PMCB dapat digerakan secara manual untuk menghubungkan dan memutuskan arus listrik, namun dapat memutuskan arus listrik secara otomatis apabila ambang batas arus listrik yang melewati VCB *Motorized* dilampaui (istilahnya Trip). Jadi PMCB digunakan sebagai pengaman beban terhadap kelebihan arus listrik. Setelah terjadi trip VCB *Motorized* dapat diengkol lagi secara manual ataupun dengan menggunakan sistem SCADA. Namun jika trip lagi sebaiknya dilakukan pemeriksaan penyebab terjadinya trip. Hal ini lebih baik dilakukan dari pada dimasukkan berulang kali yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan pada protektor atau lebih buruk lagi dapat terjadi ledakan.

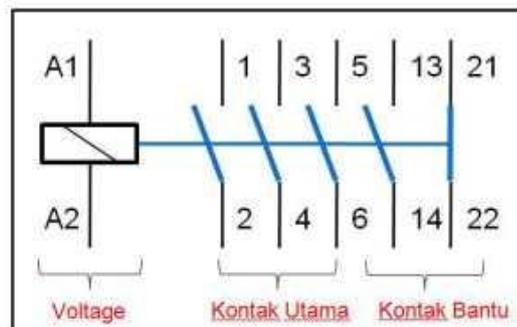
^[3]Lestari, Ayu Delta. Loc.Cit.

2.7 Kontaktor^[11]

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 bantunya 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.

2.7.1 Prinsip Kerja Kontaktor^[7]

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.



Gambar 2.17 Simbol Kontaktor Magnet^[7]

^[7]Nurmawan, Aji. 2015. Kontaktor Magnit. (<http://dunialistrikelektron.blogspot.com/2015/04/pengertian-kontaktor-magnet-dan.html#.VXZv4LVHLIU>, diakses pada 31 Mei 2015, pukul 13.15 WIB).

^[11]SMK Muhamadiyah 6. 2011. *Kontaktor Magnetik*. (<https://listrikpemakaian.wordpress.com/2011/07/11/kontaktor-magnetik-magnetic-contactor-mc/>, diakses pada 31 Mei 2015, pukul 13.00 WIB).

2.7.2 Fungsi Kontaktor^[11]

Keuntungan penggunaan kontaktor sebagai pengganti peralatan control meliputi beberapa hal, yaitu :

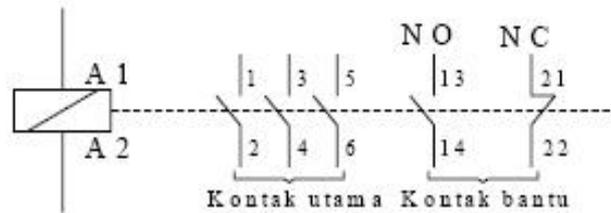
- Dapat bekerja pada arus besar atau tegangan tinggi.
- Kontaktor memungkinkan operasi majemuk dilaksanakan dari satu operator (satu lokasi) dan diinterlocked untuk mencegah kesalahan dan bahaya operasi.
- Pengoperasian yang harus diulang beberapa kali dalam satu jam, dapat digunakan kontaktor untuk menghemat usaha. Operator secara sederhana harus menekan tombol dan kontaktor akan memulai urutan event yang benar secara otomatis.
- Kontaktor dapat dikontrol secara otomatis dengan alat pilot atau sensor yang sangat peka.
- Tegangan yang tinggi dapat diatasi oleh kontaktor dan menjauhkan seluruhnya dari operator, sehingga meningkatkan keselamatan / keamanan instalasi.
- Dengan menggunakan kontaktor peralatan control dapat dipasang pada titik-titik yang jauh. Satu-satunya ruang yang diperlukan dekat mesin adalah ruangan untuk tombol tekan.
- Dengan kontaktor, kontrol otomatis dan semi otomatis mungkin dilakukan dengan peralatan seperti kontrol logika yang dapat diprogram seperti Programmable Logic Controller (PLC).

2.7.3 Identifikasi Terminal (kontak-kontak)^[7]

Kontaktor pada umumnya memiliki kontak utama untuk aliran 3 fasa. Dan juga memiliki beberapa kontak bantu untuk berbagai keperluan. Kontak utama digunakan untuk mengalirkan arus utama, yaitu arus yang diperlukan untuk beban, misalnya motor listrik, pesawat pemanas dan sebagainya. Sedangkan kontak bantu digunakan untuk mengalirkan arus bantu yaitu arus yang diperlukan untuk kumparan magnet, alat bantu rangkaian, lampu lampu indikator, dan lain - lain. Notasi dan penomoran kontak - kontak kontaktor sebagai berikut :

^[7]Nurmawan, Aji. 2015. Op.Cit.

^[11]SMK Muhamadiyah 6. Op.Cit.



Gambar 2.18 Notasi Penomoran Kotak Kontak Kontaktor^[7]

Penandaan kontak-kontak mempunyai aturan sebagai berikut :

- Penomoran kontak utama adalah 1, 3, 5 dan 2, 4, 6.
- Penomoran kontak bantu adalah
 - a. *1 - *2 untuk NC, contoh 11-12, 21-22, 31-32 dan seterusnya.
 - b. *3 - *4 untuk NO, contoh 13-14, 23-24, 33-34 dan seterusnya.

Tabel 2.1 Notasi dan Penomoran Kontaktor^[7]

Kontak	Notasi		Jenis Kontak	Penggunaan
	Huruf	Angka		
Utama	L ₁ L ₂ L ₃	1 3 5	NO	Ke Jala-jala
	R S T			
	U V W	2 4 6	NO	Ke Motor
Bantu	-	13 14	NO	Pengunci
		19 20		
		31 32	NO	Fungsi Lain
		Dsb		
	-	21 22 41 42 dsb	NC	Pengaman dan Fungsi lain
Kumparan Magnet (COIL)	Notasi Huruf		a - b A ₁ - A ₂	

^[7]Nurmawan, Aji. 2015. Op.Cit.



2.8 SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*)^[6]

SCADA (*supervisory control and data acquisition*) adalah sistem yang dapat memonitor dan mengontrol suatu peralatan atau sistem dari jarak jauh secara real time.

Prinsip dasar sistem SCADA adalah untuk memantau dan mengontrol semua peralatan yang terdapat pada suatu sistem dari jarak jauh, seperti fungsi pengukuran (*Tele Metering*), fungsi pengawasan (*Tele Control*) dan fungsi permintaan pengiriman data (*Tele Status*). SCADA bekerja mengumpulkan informasi, kemudian mentransfernya ke sentral dengan membawa data - data hasil analisa khusus dan sinyal kontrol (status) yang kemudian diperagakan pada sejumlah layar operator. SCADA bertujuan untuk membantu mendapatkan sistem pengoperasian optimum sesuai dengan berbagai kenyataan kekurangan - kekurangan maupun segala kelebihan yang terdapat pada suatu sistem. Sistem SCADA distribusi adalah suatu sistem yang terdiri atas seperangkat *hardware* dan *software* yang memungkinkan *dispatcher* yang berada di pusat kontrol mampu mengendalikan jaringan tegangan menengah (JTM).

SCADA diimplementasikan dengan perangkat - perangkat lunak, baik untuk sistem pembangkitan, transmisi maupun distribusi. Pada umumnya proses pengendalian pada sistem tenaga listrik jarak jauh terdiri atas 4 macam, yaitu :

1. Pengendalian buka / tutup perangkat pemutus daya, pemisah serta *start / stop* dari generator.
2. Pengendalian perangkat - perangkat regulator seperti pengaturan *set point* atau menaikkan dan menurunkan posisi *tap changer*.
3. Pemantau dan pengaturan beban.
4. Pengendalian yang dilakukan secara otomatis untuk keseragaman dan pengendalian perintah berurutan, misalnya merubah konfigurasi jaringan.

^[6]Noor, Muhammad Syukri. 2013. *Studi Pengintegrasian LBS Dengan Sistem SCADA Pada Jaringan Distribusi Di Unit Pengatur Distribusi (UPD) Palembang*. Laporan Akhir, Politeknik Negeri Sriwijaya. Tidak Diterbitkan. Hlm : 5.



Secara umum SCADA berfungsi mulai dari penerimaan data dari peralatan di lapangan (Gardu Induk atau Gardu Hubung), menganalisa dan memproses data yang diterima, sampai pada reaksi yang akan diberikan dari hasil pengolahan informasi.^[8]

2.8.1 Fungsi Dasar Scada

2.8.1.1 Telemetry (TM)

Mengirimkan informasi berupa pengukuran dari besaran-besaran listrik pada suatu saat tertentu, seperti : tegangan, arus, frekuensi. Pemantauan yang dilakukan oleh dispatcher diantaranya menampilkan daya nyata dalam MW, tegangan dalam KV, dan arus dalam A. Dengan demikian dispatcher dapat memantau keseluruhan informasi yang dibutuhkan secara terpusat.

2.8.1.2 Tele Sinyal (TS)

Mengirimkan sinyal yang menyatakan status suatu peralatan atau perangkat. Informasi yang dikirimkan berupa status pemutus tegangan, pemisah, ada tidaknya alarm, dan sinyal-sinyal lainnya. Telesinyal dapat berupa kondisi suatu peralatan tunggal, dapat pula berupa pengelompokan dari sejumlah kondisi. Telesinyal dapat dinyatakan secara tunggal (*single indication*) atau ganda (*double indication*). Status peralatan dinyatakan dengan cara indikasi ganda. Indikasi tunggal untuk menyatakan alarm.

2.8.1.3 Tele Control (TC)

Perintah untuk membuka atau menutup peralatan sistem tenaga listrik dapat dilakukan oleh dispatcher secara remote, yaitu hanya dengan menekan salah satu tombol perintah buka/tutup yang ada di dispatcher.

2.8.2 SCADA DMS (*Distribution Management System*)

SCADA DMS adalah aplikasi yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan teknis yang menyangkut pengoperasian jaringan dan *engineering* distribusi seperti analisa beban dan tegangan, serta sistem proteksi.

^[8]Pandjaitan, Bonar. 1999. *Teknologi Sistem Pengendalian Tenaga Listrik Berbasis SCADA*. Jakarta : PT. Prenhallindo. Halaman 12.



SCADA DMS harus menggunakan data pengukuran yang terintegrasi dengan SCADA serta parameter jaringan yang tersimpan dalam database jaringan ataupun dari aplikasi data induk jaringan. Aplikasi SCADA DMS menampilkan gambaran skema, gambaran *geographical*, penyajian dari informasi yang diinginkan, perubahan dan keterangan data pasca perhitungan serta hal - hal yang berkaitan dengan perintah kontrol.

Karena aplikasi SCADA DMS menggunakan data pengukuran yang terintegrasi dengan SCADA serta parameter jaringan dari aplikasi data induk jaringan, maka ketersediaan data tersebut merupakan persyaratan mutlak agar aplikasi SCADA DMS menghasilkan perhitungan dan analisa yang valid. Data dan parameter jaringan harus selalu dalam kondisi update untuk menjamin output aplikasi mendekati kondisi real di jaringan. Bilamana karena kondisi tertentu, belum semua data dan parameter keseluruhan sistem dapat terjamin kebenarannya, minimal harus tersedia data sebesar 50 % untuk bisa mengaplikasikan SCADA DMS secara benar. Setelah itu data dan parameter keseluruhan sistem harus segera dilengkapi agar SCADA DMS dapat digunakan keseluruhan sistem. Hasil perhitungan DMS harus dapat dibandingkan dan dikalibrasi dengan hasil perhitungan dengan metode berbeda / dengan pengukuran langsung.

2.8.2.1 Mode Pengoperasian

Berdasarkan time frame, maka DMS harus dapat dioperasikan dalam kerangka waktu pengoperasian, yaitu :

- Mode *real time*, menggunakan data sistem yang berasal langsung dari parameter dan telemetering akuisisi dari sistem SCADA.
- Mode studi (*study mode*), menggunakan data yang dibangun secara terpisah dan tidak bergantung kepada sistim realtime atau kombinasi dengan beberapa data yang dibuat secara terpisah / diinput oleh pengguna.



Sedangkan menurut mode pelaksanaan, aplikasi DMS dapat dijalankan dengan fungsi online dan fungsi offline.

- Fungsi online, dioperasikan secara langsung di konsol dalam lingkup jaringan LAN control center yang sedang beroperasi, baik dalam kerangka waktu real-time ataupun study mode
- Fungsi offline, dioperasikan pada konsol yang berbeda, dan tidak terhubung / tidak akan terpengaruh dengan sistem *online*.

2.8.2.2 Fungsi SCADA DMS

Fungsi SCADA DMS yang tersedia harus bisa melakukan tugas teknik dalam keperluan distribusi secara praktis dalam 4 (empat) mode aplikasi, yakni :

- Pengaturan operasi
- Perencanaan operasi
- Pendukung perencanaan pengembangan
- Simulasi, analisa dan training

Aplikasi *Fault Detection Insulation dan Restoration* (FDIR) bekerja atas perhitungan berdasarkan besarnya arus gangguan yang mengalir pada impedansi jaringan untuk prediksi titik lokasi gangguan di jaringan. Aplikasi ini harus bisa memberikan semacam panduan kepada operator untuk menangani suatu gangguan yang terjadi. Informasi kepada operator meliputi dimana lokasi gangguan terjadi. Kemudian memberikan informasi yang optimum bagaimana cara melakukan isolasi gangguan tersebut serta melakukan penyelesaian (*re-energize*) penyulang yang mengalami gangguan tersebut. Hal ini akan membantu dalam mengurangi waktu pemadaman yang diakibatkan gangguan yang terjadi.

Sistem aplikasi FDIR harus menyediakan kemampuan untuk membantu operator sistem distribusi dalam memperkirakan lokasi gangguan dan



memberikan saran untuk melakukan *switching* yang akan mengisolasi gangguan sehingga wilayah yang padam akan minimal.

Fitur yang harus dicakup juga harus meliputi perhitungan besar arus penyetelan relay dan perhitungan *setting* waktu relay.

Data yang diperlukan :

- Panjang jaringan
- Impedansi jaringan
- Tipe penghantar
- Data sistem proteksi GI
- *Typical* / Karakteristik relay arus lebih
- Data trafo tenaga di GI
- Arus hubung singkat di GI
- Data arus beban puncak

2.8.3 Komponen SCADA^[6]

SCADA tidak dapat bekerja sendiri, melainkan membutuhkan komponen – komponen pendukung lainnya, yaitu :

2.8.3.1 Subsistem Pusat Kontrol (*Master Station*)

Pusat kontrol terdiri dari beberapa komponen utama yaitu, komputer utama (PC SCADA) / 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 komputer utama adalah :

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

^[6]Noor, Muhammad Syukri, Loc.Cit. Halaman 6.

2.8.3.2 Subsistem RTU (*Remote Terminal Unit*)

Remote terminal unit adalah salah satu komponen / perangkat sistem SCADA yang terletak pada gardu induk, gardu distribusi dan gardu hubung yang bertugas mengeksekusi semua perintah dari *master station*. Agar semua kejadian yang terjadi di gardu PLN dapat dipantau dan dikontrol dari pusat kontrol, maka di setiap gardu tersebut dipasang alat yang dapat melaksanakan fungsi *Tele Status (TS)*, *Remote Control (RC)*, *Tele Meter (TM)*. Alat tersebut adalah RTU (*Remote Terminal Unit*). Salah satu contoh dari RTU dapat kita lihat pada gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2.19 *Remote Terminal Unit (RTU)*

Fungsi utama dari suatu RTU adalah:

- Mendeteksi perubahan posisi saklar (*Open / Close / Invalid*).
- Mengetahui besaran tegangan, arus dan frekuensi (di Gardu Induk).
- Menerima perintah *remote control* dari pusat kontrol untuk membuka atau menutup.

2.8.3.3 *Power Supply*

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



2.8.3.4 Signal Supply Fault

Signal Supply Fault adalah signal alarm yang mengidentifikasi terjadinya gangguan pada sistem *power supply*, baik itu gangguan *internal* pada *card*, baterai, maupun hilangnya tegangan AC 220 V. Signal ini kemudian akan dideteksi oleh RTU dan selanjutnya akan dikirim ke pusat kontrol. Alat yang dipergunakan untuk indikasi SF, adalah relay bantu dan *limit switch*. Munculnya indikasi SF pada layar monitor menunjukkan terjadinya gangguan sistem *power supply* pada gardu yang bersangkutan, sehingga petugas *maintenance* dapat segera menuju lokasi untuk melakukan perbaikan. Apabila terjadi hilang tegangan pada AC (tegangan 220 V), maka baterai akan menopang (*back up*) peralatan kontrol tersebut. Lama waktu *back up* akan ditentukan oleh besarnya kapasitas baterai, semakin besar kapasitas baterai maka waktu *back up* akan menjadi lebih lama.

2.8.3.5 Subsistem Telekomunikasi Data

Untuk menghubungkan dua perangkat yaitu komputer di pusat kontrol 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 kontrol (*master station*) dapat melakukan perintah kontrol seperti membuka / menutup, PMCB / PMT melalui *Remote Terminal Unit* perintah tersebut dapat dieksekusi. *Remote Terminal Unit* dapat melakukan pengiriman status *switch*, alarm dan data pengukuran ke pusat kontrol 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 Kontrol), modem GPRS (DF 7119) pada frekuensi 900 – 907,5 MHz dan Radio Link, yaitu Radio Racom 1 (378.050 MHz), Radio Racom 2 (379.050 MHz), Radio MDS 1 (371.050 MHz – 376.050 MHz), dan Radio MDS 2 (372.000 – 377.000 MHz).



2.8.4 Keuntungan Sistem SCADA^[8]

Dengan menggunakan sistem SCADA, maka akan didapat beberapa keuntungan, yaitu :

- Sistem pengoperasian dengan organisasi yang ramping dan sederhana.
- Lebih ekonomis, karena tidak perlu menggunakan jasa operator.
- Data – data yang didapat lebih akurat dan tepat.
- Peningkatan keandalan sistem jaringan tenaga listrik.
- Berkurangnya rugi – rugi jaringan distribusi tenaga listrik.
- Waktu pemulihan jaringan distribusi tenaga listrik yang cepat.
- Tingkat keamanan yang lebih baik.
- Sebagai simulasi atas rencana pengembangan jaringan distribusi tenaga listrik yang akan dilaksanakan sehingga mutu, keandalan dan keamanan operasi lebih terjamin.
- Menganalisa dan mengevaluasi hasil – hasil pengoperasian jaringan tenaga listrik.
- Hasil aplikasi memberi pertimbangan kepada *dispatcher* untuk langkah terbaik pemulihan beban setelah gangguan secara cepat, tepat, dan optimal.
- Meningkatkan power factor dan menurunkan losses dengan pengaturan tegangan dan daya reaktif.
- Mengevaluasi dampak dari setting dan rating perlengkapan proteksi dalam konfigurasi penyulang.
- Sebagai bahan analisa teknis yang tepat dalam rangka rekonfigurasi serta perencanaan perluasan jaringan.

^[8]Pandjaitan, Bonar. Loc.Cit., Halaman 269.