

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pengaman

2.1.1 Pengertian Pengaman

Sistem pengaman tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik seperti generator, bus bar, transformator, SUTT, kabel bawah tanah dan sebagainya terhadap kondisi abnormal pada operasi sistem.

2.1.2 Fungsi Pengaman

Fungsi pengaman tenaga listrik antara lain:

1. Mencegah kerusakan peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi tidak normal pada sistem.
2. Mempersempit daerah terjadinya gangguan sehingga gangguan tidak menyebar ke sistem yang lain.
3. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu yang tinggi kepada konsumen.
4. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

Pengaman pada sistem tenaga listrik pada dasarnya terdiri atas pemutus tenaga (PMT) atau *circuit breaker* (CB) yang bekerja memutus rangkaian jika terjadi gangguan yang operasinya dikendalikan oleh rele pengaman.

2.2 Sistem Proteksi Rele

2.2.1 Pengertian

Rele pengaman merupakan suatu alat baik elektronik maupun magnetik yang dirancang untuk merasakan dan mendeteksi suatu kondisi ketidaknormalan pada sistem tenaga listrik. Jika terjadi gangguan maka rele secara otomatis akan memberikan sinyal perintah untuk membuka pemutus tenaga (PMT) agar bagian yang terganggu dapat dipisahkan dari sistem. Rele dapat mengetahui gangguan dengan mengukur atau membandingkan besaran yang diterimanya seperti arus, tegangan, frekuensi, daya, sudut fasa dan sebagainya sesuai dengan jenis dan besaran rele yang ditentukan. Alat tersebut akan mengambil keputusan seketika dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga harus mempunyai kemampuan untuk memutus arus maksimum hubung singkat yang melewatinya dan harus mampu menutup rangkaian dalam keadaan hubung singkat kemudian membuka kembali.

2.2.2 Fungsi Rele

Secara umum pada prinsipnya rele yang dipasang pada sistem tenaga mempunyai tiga fungsi yaitu:

1. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkannya dengan cepat.
2. Mengurangi gangguan kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
3. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap sistem yang lain yang tidak terganggu dalam sistem tersebut serta dapat beroperasi normal dan juga untuk mencegah meluasnya gangguan.

2.2.3 Kriteria Rele Pengaman

Untuk dapat menjaga kelangsungan penyaluran tenaga listrik, maka rele harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Keandalan (*Reliability*)

Pada keadaan normal atau tidak terjadi gangguan, mungkin dalam waktu yang lama rele tidak bekerja. Namun ketika suatu saat terjadi gangguan maka rele tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan tersebut.

2. Sensitivitas (*Sensitivity*)

Rele harus memiliki kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal sesuai dengan pengaturannya. Rele harus bekerja pada

saat awal terjadi gangguan, sehingga gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Disamping itu rele juga harus stabil, artinya :

- a. Rele harus dapat membedakan antara arus gangguan dan arus beban maksimum.
- b. Pada saat pemasokan trafo daya, rele tidak boleh bekerja karena adanya arus *inrush* yang besarnya seperti arus gangguan, yaitu 3 sampai 5 kali arus beban maksimum.

3. Selektivitas (*Selectivity*)

Selektivitas berarti kemampuan untuk mengenali gangguan dan memberikan perintah ke pemutus tenaga untuk membuka seminimal mungkin untuk mengatasi gangguan.

4. Kecepatan Kerja/Reaksi

Rele pengaman harus mampu memutuskan dan memisahkan gangguan secara cepat dengan waktu gangguan yang minimum dan rele bekerja sesuai dengan pengaturan waktu yang telah ditetapkan.

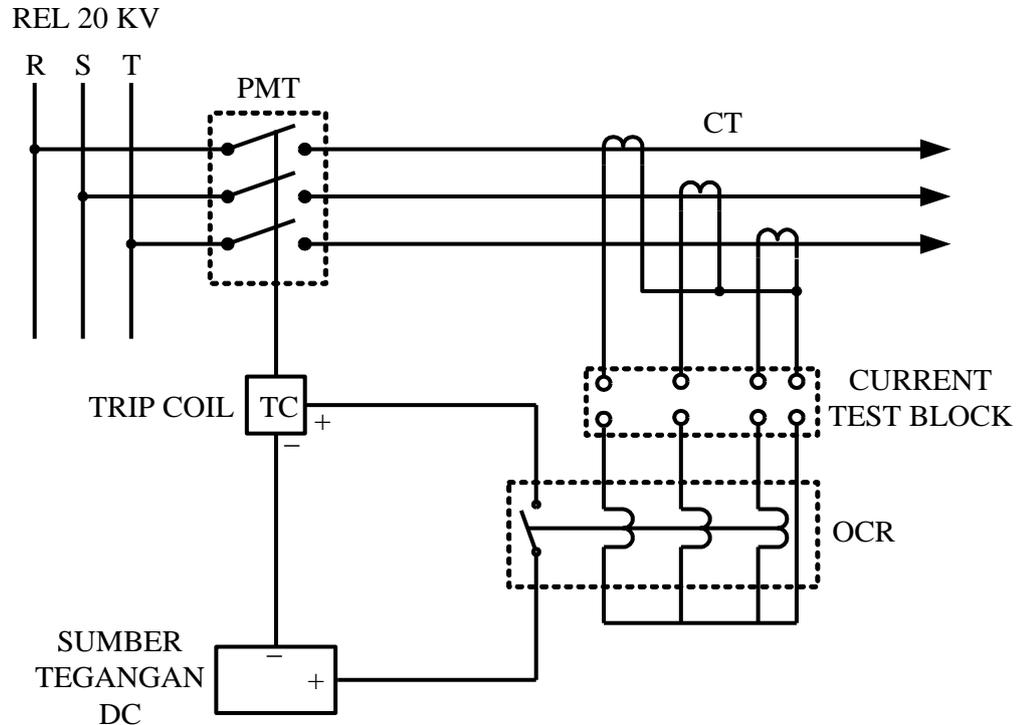
5. Ekonomis

Memiliki kemampuan proteksi yang maksimum dengan biaya yang minimum. Keempat persyaratan di atas hendaknya tidak menyebabkan harga rele menjadi mahal.

2.3 Rele Arus Lebih

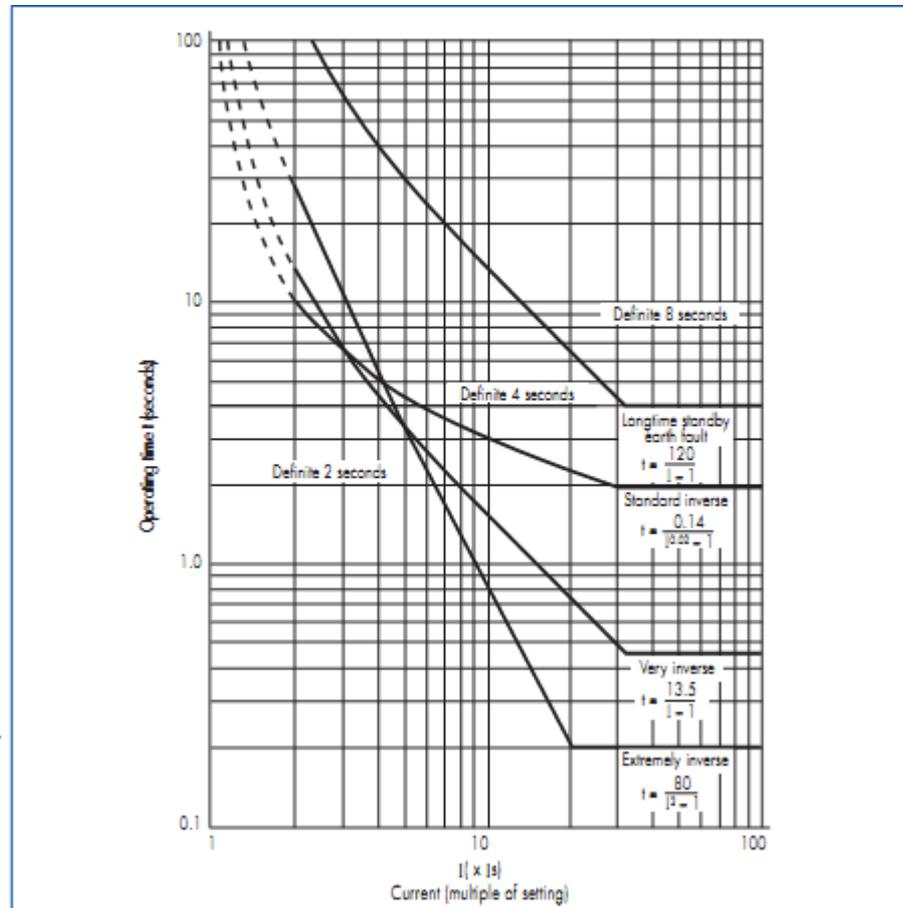
Rele arus lebih merupakan peralatan yang dapat merasakan adanya arus lebih yang disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat maupun adanya beban berlebih (*overload*) yang dapat merusak peralatan yang berada di wilayah proteksi. Rele ini berfungsi sebagai pengaman cadangan (*back up protection*) pada trafo tenaga untuk gangguan eksternal atau sebagai pengaman cadangan pada *outgoing feeder*.

Pada dasarnya rele ini bekerja karena adanya arus lebih yang dirasakan baik karena hubung singkat maupun beban berlebih, yang kemudian akan memerintahkan PMT untuk membuka sehingga gangguan dapat dipisahkan dari sistem.



Gambar 2.1. Rangkaian Pengawatan Rele Arus Lebih
(Modul Diklat PT. PLN (Persero), 2010)

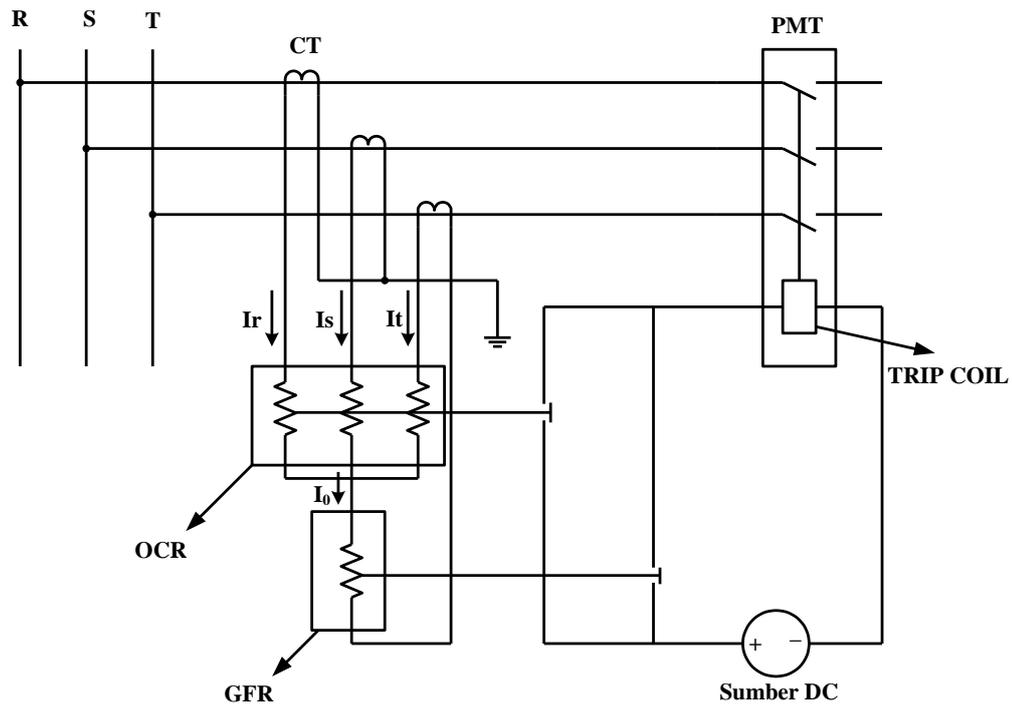
Gambar 2.2 merupakan grafik koordinasi rele arus lebih karakteristik invers dengan masing-masing jenisnya.



Gambar 2.2 Karakteristik Rele Arus Lebih
(Datasheet OCR MCCG 82.ALSTOM)

2.4 Rele Gangguan Tanah

Rele jenis ini memiliki prinsip kerja seperti halnya rele arus lebih (OCR), namun pada pengaplikasiannya berbeda. OCR akan mendeteksi bila terjadi hubung singkat antar fasa, sedangkan GFR akan mendeteksi bila terjadi hubung singkat ke tanah. Diagram pengawatan GFR ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3. Rangkaian Pengawatan Rele Gangguan Tanah
(Modul Diklat PT. PLN (Persero), 2010)

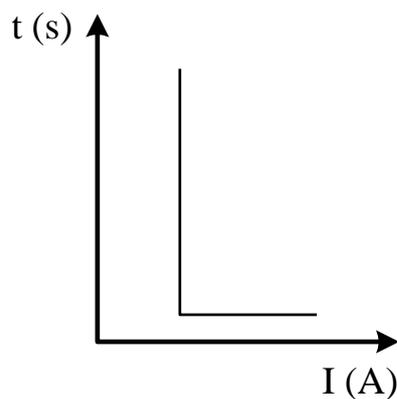
Besar arus I_r , I_s , I_t pada kondisi normal adalah seimbang, sehingga pada kawat tanah tidak mengalir arus dan rele gangguan tanah pun tidak bekerja. Bila terjadi hubung singkat ke tanah maka akan timbul ketidakseimbangan arus, sehingga pada kawat pentanahan akan mengalir arus urutan nol dan mengakibatkan GFR bekerja.

2.5 Jenis-Jenis Rele Proteksi Arus Lebih

Berdasarkan karakteristik operasi, rele arus lebih dapat dibedakan menjadi :

2.5.1 *Instantaneous* OCR (Rele Arus Lebih Waktu Kerja Seketika)

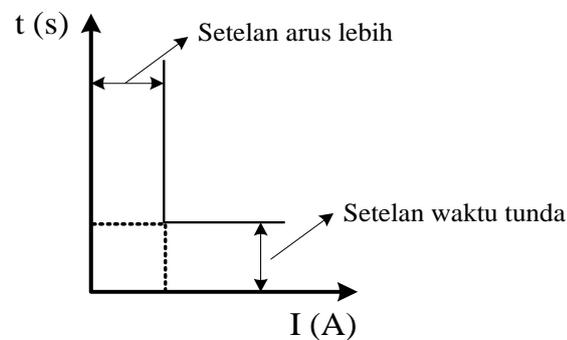
Rele ini bekerja tanpa adanya penundaan waktu atau *time delay* dalam beroperasi apabila terjadi gangguan. Rele ini akan bekerja apabila arus yang mengalir melebihi nilai *setting*nya. Rele ini bekerja dalam waktu milidetik. Rele ini akan beroperasi ketika arus mencapai nilai yang telah ditentukan. *Setting* ini dipilih pada GI yang paling jauh dari sumber, rele akan beroperasi pada nilai arus yang rendah. Tipe proteksi ini mempunyai kelemahan pada selektivitas dan nilai arus hubung singkat yang tinggi. Kerugian yang lainnya adalah sulit membedakan antara arus gangguan pada satu titik atau lainnya ketika impedansi antara titik-titik ini lebih kecil dibandingkan terhadap impedansi sumber.



Gambar 2.4. Rele Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu Kerja Seketika

2.5.2 *Definite Time OCR (Rele Arus Lebih Waktu Kerja Tertentu)*

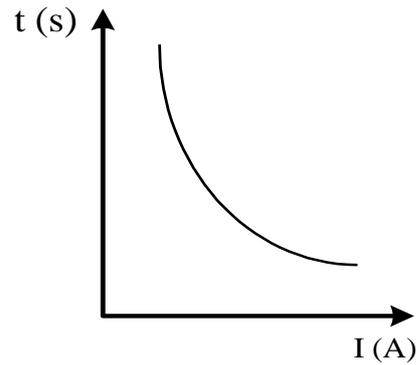
Rele ini bekerja dengan waktu tunda yang telah ditentukan. Jenis ini memungkinkan *setting* menjadi bervariasi untuk mengatasi besar arus gangguan yang berbeda dengan menggunakan waktu operasi berbeda. *Setting* dapat disesuaikan dengan cara dimana pemutus tenaga yang paling dekat dengan gangguan akan membuka dalam waktu yang pendek. Maka operasi untuk rele tipe ini dapat disesuaikan pada langkah yang pasti dimana proteksi lebih selektif.



Gambar 2.5. Rele Arus Lebih dengan Karakteristik Waktu Kerja Tertentu

2.5.3 *Standar Invers Time Relay (Rele Arus Lebih Kerja Terbalik)*

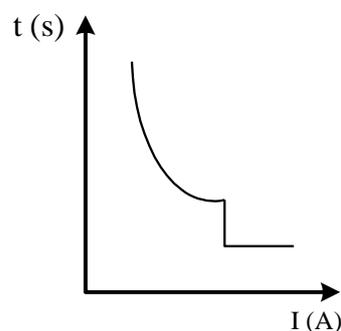
Rele ini bekerja dengan waktu tunda sesuai dengan karakteristik *invers* yang dipilih. Cara kerja rele ini pada dasarnya adalah semakin besar arus gangguan maka semakin cepat waktu kerja dari rele tersebut. Keuntungan dari rele ini adalah untuk arus yang sangat tinggi, waktu untuk membuka (*trip*) menjadi sangat pendek didapatkan tanpa resiko terhadap selektivitas.



Gambar 2.6. Rele *Standar Invers Time*

2.5.4 *Invers Definite Minimum Time OCR (Relai Arus Lebih IDMT)*

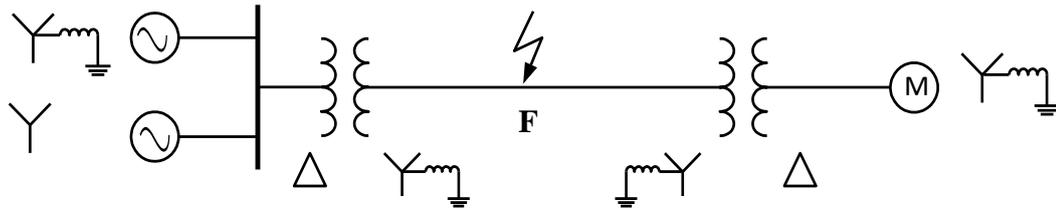
Karakteristik rele ini adalah memiliki bagian *invers* untuk arus gangguan kecil dan bagian landai untuk arus gangguan yang besar, sehingga semakin besar arus gangguan yang terjadi maka akan semakin cepat rele bekerja. Tetapi pada saat tertentu yaitu pada saat mencapai waktu yang telah ditentukan maka kerja rele tidak lagi ditentukan oleh arus gangguan tetapi oleh waktu. Keuntungan menggunakan rele jenis ini adalah sebagai pengaman banyak saluran. Rele ini dapat memberikan pengamanan yang cepat, baik di ujung saluran maupun yang berada dekat sumber.



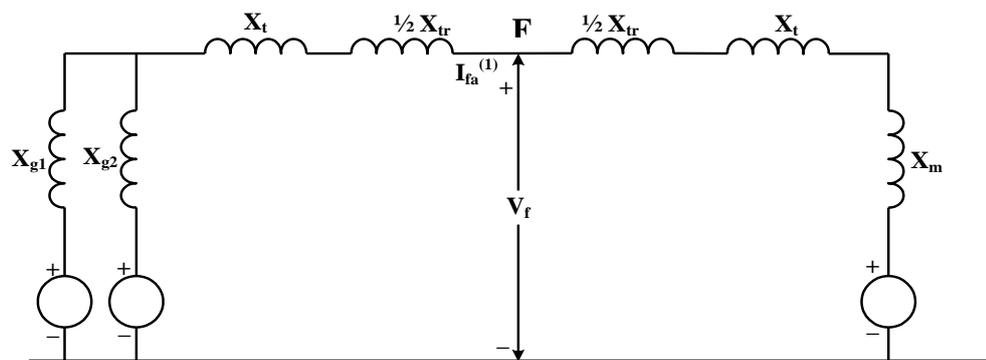
Gambar 2.7. Rele Arus Lebih IDMT

2.6 Urutan Jaringan Pada Sistem Tenaga Listrik

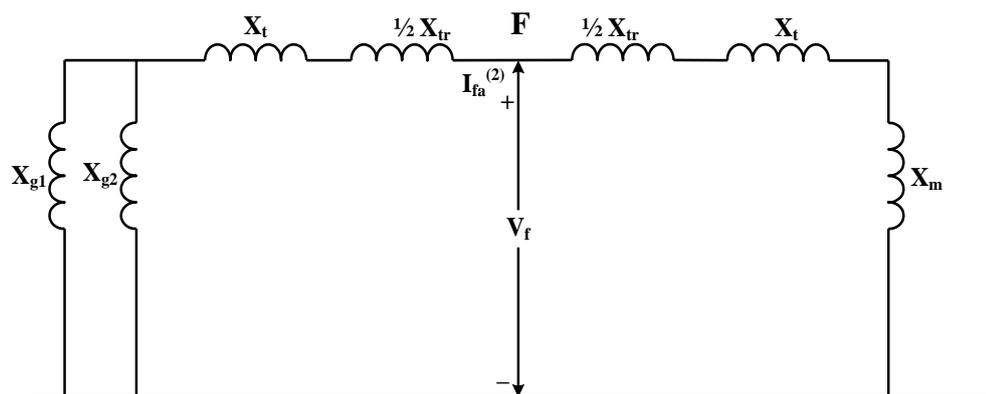
Gambar di bawah ini merupakan contoh gangguan yang terjadi pada sistem distribusi beserta dengan rangkaian ekivalen urutan positif, negatif dan urutan nol.



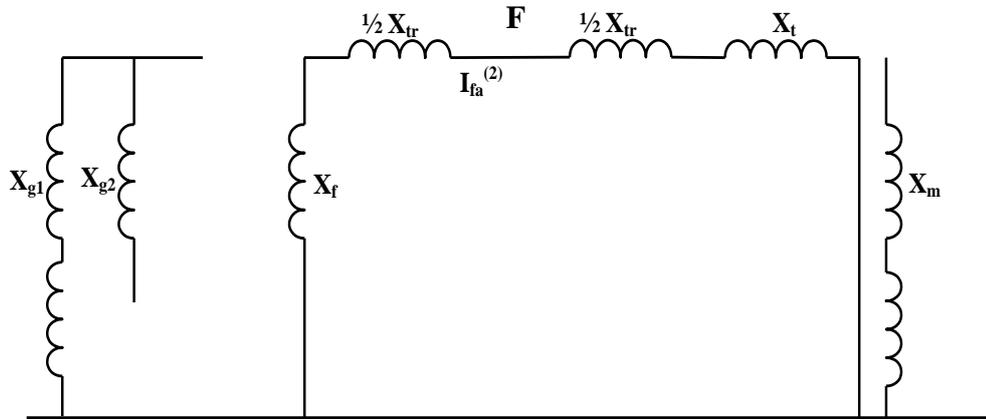
Gambar 2.8. Single Line Diagram Sistem Tenaga Listrik



Gambar 2.9. Jaringan Urutan Positif



Gambar 2.10. Jaringan Urutan Negatif



Gambar 2.11. Jaringan Urutan Nol

2.7 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

2.7.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan satu fasa ke tanah disebabkan antara lain petir atau konduktor yang membuat kontak dengan tanah. Untuk gangguan satu fasa ke tanah melalui impedansi Z_f di tunjukan pada gambar 2.11 dimana gangguan terjadi di fasa a. Kondisi pada bus terganggu k dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$I_{fb} = 0 \qquad I_{fc} = 0 \qquad V_{ka} = Z_f \times I_{fa}$$

Dimana $I_{fb} = I_{fc} = 0$, komponen simetris diberikan oleh:

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

dan melakukan hasil perkalian

$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{I_{fa}}{3} \tag{2.14}$$

Substitusikan $I_{fa}^{(0)}$ untuk $I_{fa}^{(1)}$ dan $I_{fa}^{(2)}$ ditunjukkan bahwa $I_{fa} = 3I_{fa}^{(0)}$,

dan dari persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned} V_{ka}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{fa}^{(0)} \\ V_{ka}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{fa}^{(1)} \\ V_{ka}^{(2)} &= -Z_{kk}^2 I_{fa}^{(2)} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Kita dapatkan

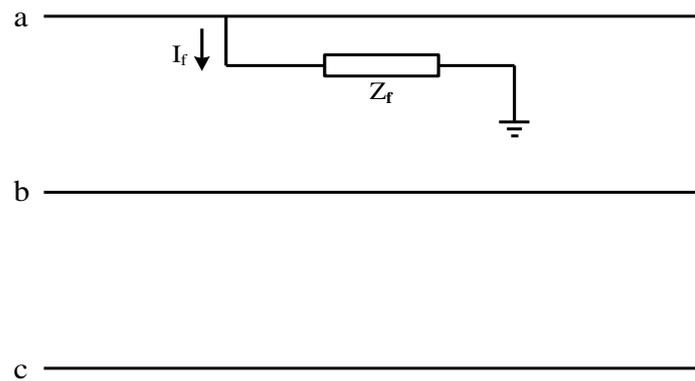
$$\begin{aligned} V_{ka}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{fa}^{(0)} \\ V_{ka}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{fa}^{(0)} \\ V_{ka}^{(2)} &= -Z_{kk}^2 I_{fa}^{(0)} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Penjumlahan persamaan ini $V_{ka} = 3Z_f I_{fa}^{(0)}$ memberikan

$$\begin{aligned} V_{ka} &= V_{ka}^{(0)} + V_{ka}^{(1)} + V_{ka}^{(2)} \\ &= V_f - \left(Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} \right) I_{fa}^{(0)} \\ &= 3Z_f I_{fa}^{(0)} \end{aligned} \quad (2.17)$$

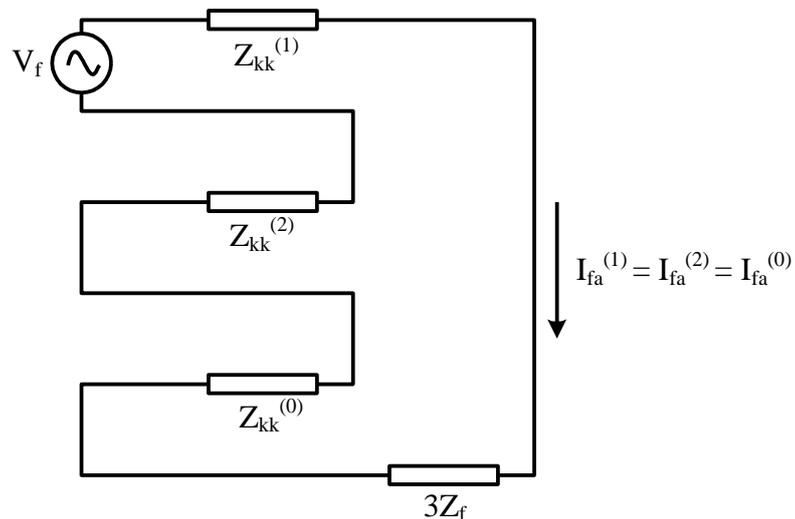
Penyelesaian untuk $I_{fa}^{(0)}$ dan kombinasi hasil dari persamaan (2.14), maka didapatkan persamaan seperti di bawah ini:

$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.18)$$



Gambar 2.12. Gangguan Satu Phasa Ke Tanah

Persamaan (2.18) adalah persamaan untuk mencari besar arus gangguan satu phasa ke tanah melalui impedansi Z_f dan digunakan dengan hubungan komponen simetris untuk menentukan semua tegangan dan arus pada titik P. Rangkaian ekivalen thevenin tiga jaringan dihubungkan seri, seperti pada gambar 2.13 dengan impedansi gangguan $3Z_f$ dan sumber tegangan sebelum gangguan V_f .



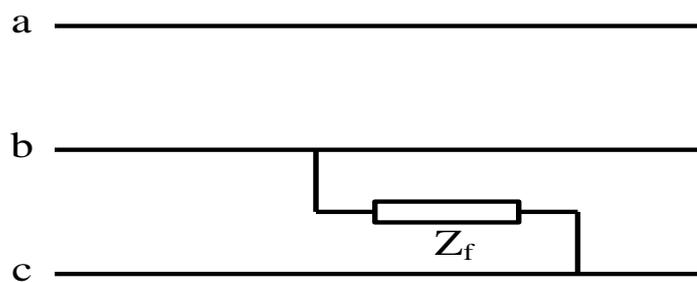
Gambar 2.13. Rangkaian Ekivalen Thevenin Gangguan Satu Phasa Ke Tanah

Ketika arus $I_{fa}^{(0)}$, $I_{fa}^{(1)}$ dan $I_{fa}^{(2)}$ diketahui, komponen tegangan pada semua sistem bus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.16)

2.7.2 Gangguan Hubung Singkat Phasa ke Phasa

Gangguan phasa ke phasa melalui impedansi Z_f ditunjukkan pada gambar 2.14 dimana gangguan pada titik P, phasa yang terganggu adalah phasa b dan c. Pada titik gangguan hubungan di bawah ini.

$$I_{fa} = 0 \qquad I_{fb} = -I_{fk} \qquad V_{ab} - V_{kc} = I_{fb}Z_f$$



Gambar 2.14. Gangguan Phasa ke Phasa

Karena $I_{fb} = I_{fc}$ dan $I_{fa} = 0$, komponen simetris arusnya adalah:

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{fb} \\ I_{fb} \end{bmatrix}$$

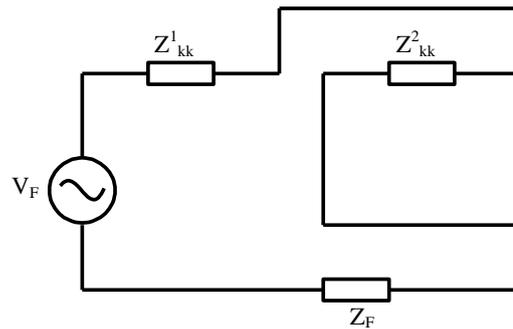
Dan persamaan perkaliannya adalah:

$$I_{fa}^{(0)} = 0$$

$$I_{fa}^{(1)} = -I_{fa}^{(2)} \qquad (2.19)$$

Tegangan yang melalui jaringan urutan nol adalah 0 karena tidak ada sumber urutan nol, dan karena $I_{fa}^{(0)} = 0$, arus tidak diinjeksikan ke jaringan yang disebabkan gangguan. Oleh sebab itu, perhitungan arus gangguan fasa ke fasa tidak meliputi jaringan urutan nol.

Untuk mempermudah analisa sesuai dengan persamaan (2.19) maka dibuat rangkaian ekuivalen thevenin jaringan urutan positif dan negatif dalam paralel, seperti gambar di bawah ini. Untuk menunjukkan bahwa hubungan jaringan memenuhi persamaan tegangan $V_{kc} = I_{fb}Z_f$, dikembangkan masing-masing sisi persamaan terpisah.



Gambar 2.15. Rangkain Ekuivalen Jaringan Urutan Positif dan Negatif Gangguan Fasa ke Fasa

$$\begin{aligned}
 V_{kb} - V_{kc} &= (V_{kb}^{(1)} + V_{kb}^{(2)}) - (V_{kc}^{(1)} + V_{kc}^{(2)}) \\
 &= (V_{kb}^{(1)} - V_{kc}^{(1)}) + (V_{kb}^{(2)} - V_{kc}^{(2)}) \\
 &= (a^2 - a)V_{ka}^{(1)} + (a - a^2)V_{ka}^{(2)} \\
 &= (a^2 - a)(V_{ka}^{(1)} - V_{ka}^{(2)})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{fb}Z_f &= (I_{fb}^{(1)} + I_{fb}^{(2)})Z_f \\
 &= (a^2I_{fa}^{(1)} + aI_{fa}^{(2)})Z_f
 \end{aligned}$$

Persamaan keduanya $I_{fa}^{(2)} = -I_{fa}^{(1)}$, maka didapatkan

$$(a^2 - a)(V_{ka}^{(1)} - V_{ka}^{(2)}) = (a^2 - a)I_{fa}^{(1)}Z_f$$

$$\text{Atau } V_{ka}^{(1)} - V_{ka}^{(2)} = I_{fa}^{(1)}Z_f$$

Maka,

$$I_{fa}^{(1)} = -I_{fa}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.20)$$

2.7.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Phasa ke Tanah

Gangguan dua phasa ke tanah ditunjukkan seperti pada gambar 2.17

gangguan terjadi pada phasa b dan phasa c.

$$I_{fb} = 0 \quad V_{kb} = V_{bc} = (I_{fb} + I_{fc})Z_f \quad (2.21)$$

Karena I_{fa} adalah 0, maka arus urutan nol diberikan oleh

$$I_{fa}^{(0)} = \frac{(I_{fb} + I_{fc})}{3}$$

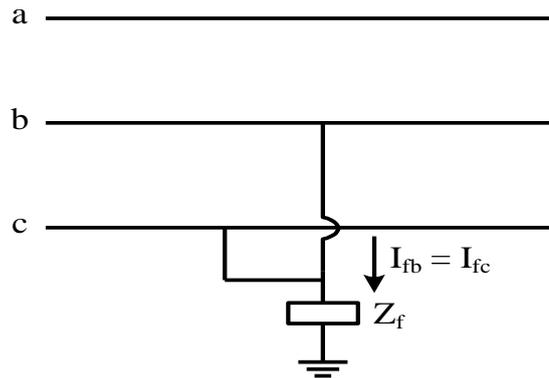
Dan persamaan 2.21 Menjadi

$$V_{kb} = V_{kc} + 3Z_f I_{fa}^{(0)}$$

$$\begin{bmatrix} V_{ka}^{(0)} \\ V_{ka}^{(1)} \\ V_{ka}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ka} \\ V_{kb} \\ V_{kc} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Pensubstitusian V_{kb} untuk V_{kc} adalah

$$V_{ka}^{(1)} = V_{ka}^{(2)}$$



Gambar 2.16 Gangguan Dua Fasa ke Tanah

Sedangkan baris pertama dan persamaan (2.22) menunjukkan bahwa :

$$\begin{aligned} 3V_{ka}^{(0)} &= V_{ka} - 2V_{kb} \\ &= \left(V_{ka}^{(0)} + V_{ka}^{(1)} + V_{ka}^{(2)} \right) + 2 \left(3Z_f I_{fa}^{(0)} \right) \end{aligned}$$

Didapatkan :

$$V_{ka}^{(1)} - V_{ka}^{(0)} - 3Z_f I_{fa}^{(0)}$$

$$\text{maka } V_{ka}^{(1)} = V_{ka}^{(2)} = V_{ka}^{(0)} - 3Z_f I_{fa}^{(0)}$$

$$I_{fa}^{(0)} + I_{fa}^{(1)} + I_{fa}^{(2)} = 0$$

Hubungan diagram jaringan menunjukkan bahwa arus urutan positif adalah :

$$I_{fa}^{(1)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + \left[\frac{Z_{kk}^{(2)} (Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + Z_f} \right]} \quad (2.23)$$

Arus urutan negatif dan urutan nol adalah :

$$I_{fa}^{(2)} = -I_{fa}^{(1)} \left[\frac{Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} \right] \quad (2.24)$$

$$I_{fa}^{(0)} = -I_{fa}^{(1)} \left[\frac{Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} \right] \quad (2.25)$$

2.7.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Phasa

Impedansi pada gangguan simetris tiga phasa adalah sama diantara masing-masing jaringan. Jaringan yang mengalir hanya jaringan urutan positif. Arus urutan positif dengan impedansi gangguan yang sama di semua phasa adalah :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (2.26)$$

2.8 Penelitian Terdahulu

Dalam permasalahan *setting* rele proteksi dan komponen pendukungnya, ada beberapa penelitian terdahulu yang telah diidentifikasi seperti pada makalah [1] yang ditulis oleh Nugroho *et al*, telah melakukan analisa pada Penyulang Kaliwungu 03 di kota Kendal Jawa Tengah. Arus gangguan yang terjadi sangat besar karena sistem listriknya menganut sistem pentanahan langsung sepanjang saluran. Dengan demikian sering terjadi pelimpahan pembebanan antar penyulang bila terjadi gangguan, sehingga jangkauan pengindraan peralatan proteksi mutlak harus dipertimbangkan termasuk koordinasi antara pengaman satu dengan yang lain. Pada penelitian ini, peneliti mencoba menganalisa besar arus gangguan hubung singkat baik tiga phasa, dua phasa dan satu phasa ke tanah pada Penyulang Kaliwungu serta membandingkannya dengan setting OCR dan *Recloser* yang terpasang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat

keandalan penyulang Kaliwungu dalam keadaan normal atau saat menerima pelimpahan beban dari penyulang Waleri 06 dan juga dapat memperlihatkan karakteristik dan pola *setting* peralatan pengaman yang terpasang. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa setting OCR dan *Recloser* masih dapat mengatasi besar arus gangguan, karena *setting* kedua peralatan tersebut masih lebih besar dari pada besar arus gangguan minimum. Dengan demikian penyulang Kaliwungu 03 dapat memikul pelimpahan beban dari penyulang Waleri 06, namun untuk keperluan keandalan perlu dilakukan evaluasi yang terjadwal pada peralatan tersebut karena kondisi beban bisa berubah sewaktu-waktu.

Koordinasi proteksi trafo gardu induk telah dilakukan oleh Sugeng Priyono, dalam makalah [2] menjelaskan koordinasi peralatan proteksi yang terpasang pada gardu induk di sisi 20 kV, 150 kV dan di sisi penyulang. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan *software* simulator MathCad untuk mencari besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah pada GI 150 kV. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis setting *koordinasi ocr*, *gfr*, *defferential* rele dan peralatan proteksi lainnya pada trafo 30 MVA di GI Krapyak agar trafo dapat bekerja dengan baik. Pada trafo jenis gangguan yang sering terjadi adalah busur api, arus sirkulasi dan gangguan sistem pendingin yang merupakan gangguan internal. Gangguan eksternal yang sering terjadi adalah hubung singkat dan *overload*. Untuk mengatasi gangguan eksternal ini dipasang pengaman *differential* dan arus lebih. Pada penelitian ini

dijelaskan tentang dasar *setting* pada rele dan perhitungan besar arus hubung singkat. Penelitian ini juga memuat data teknis di GI dan data pada penyulang 20 kV. *Setting* arus ocr yang diterapkan adalah sebesar $120\% \times$ arus nominal, sedangkan untuk gfr *disetting* sebesar $50\% \times$ arus nominal. Dari hasil penelitian ini didapatkan data teknis untuk GI Krapyak baik arus hubung singkat maupun *setting* untuk peralatan proteksi khususnya gangguan arus lebih. Dengan diadakannya penelitian ini diharapkan agar apabila terjadi gangguan di daerah penyulang 20 kV maka rele terdekat di penyulang saja yang bekerja, rele *incoming* 20 kV trafo hanya sebagai *back up* proteksi sisi penyulang, begitu pula rele di sisi 150 kV trafo sebagai *back up* rele sisi *incoming* 20 kV sehingga tidak mengakibatkan pemadaman yang lebih luas.

Perhitungan *setting* proteksi rele pada sistem interkoneksi perusahaan telah dilakukan oleh Tirza *et al*, dari makalah [3] pada penelitian ini dijelaskan tentang permasalahan utama dari sistem daya adalah gangguan hubung singkat, sehingga sangat diperlukan suatu peralatan proteksi yang dapat bekerja dengan cepat, handal dan fleksibel. Penelitian ini pun membandingkan hasil simulasi mengenai besar arus hubung singkat dengan *setting* pada peralatan yang terpasang di jaringan serta dapat melakukan koordinasi antar peralatan proteksi dengan adanya diskriminasi waktu. Jenis rele yang digunakan adalah rele yang berkarakteristik IDMT karena akan mengkoordinasikan arus dan waktu. Maksud utama dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai arus dan waktu yang tepat

sebagai dasar *setting* pada rele yang terpasang. Dari hasil penelitian dan simulasi didapatkan waktu operasi rele rata-rata adalah 300 ms. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rele mempunyai waktu operasi (*top*) yang kecil dan dapat melokalisir gangguan dengan cepat. Arus gangguan hubung singkat yang didapatkan dari simulasi sebesar 13 kA waktu pemutusannya sebesar 100 ms dan arus hubung singkat yang kecil 0.001 kA waktunya sebesar 300 ms.

Penelitian tentang rele tipe BEI-51 yang dilakukan oleh Said Aiyub, pada makalah [4] dijelaskan tentang karakteristik rele jenis BEI-51 yang memiliki sensitivitas yang baik dengan waktu kerja di bawah 1 detik untuk mendeteksi gangguan, sehingga baik digunakan untuk trafo daya berkapasitas besar. Rele ini dapat mendeteksi gangguan eksternal maupun internal dari trafo daya seperti hubung singkat antar belitan. Penelitian ini juga menjelaskan tentang prinsip kerja dari peralatan proteksi yang dipasang dan juga prinsip kerja dari trafo daya. Dalam paper ini dimuat tentang jenis-jenis trafo, metode perhitungan besar arus hubung singkat pada trafo serta langkah-langkah yang harus dilakukan sebelum melakukan perhitungan besar arus hubung singkat yang terjadi. Ada beberapa langkah yang harus dilakukan sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat yaitu menghitung impedansi sumber, menghitung reaktansi sumber, menghitung impedansi penyulang kemudian baru menghitung besar arus gangguan hubung singkat baik antar fasa maupun fasa ke tanah. Dari penelitian ini dapat disimpulkan koordinasi kedua peralatan proteksi di atas

dengan sensitivitas tinggi dapat mengamankan trafo daya dari gangguan hubung singkat. OCR jenis ini diset menggunakan potensiometer. Untuk *high* menggunakan potensiometer merah dan untuk *low* menggunakan potensiometer hijau. Penggunaan OCR digunakan karena umumnya sistem masih menggunakan sistem penyaluran udara. Dari hasil perhitungan pada masing-masing rele dapat bekerja pada waktu yang tepat dari gangguan yang terjadi pada penyulang 20 kV.

Selanjutnya untuk evaluasi rele proteksi *feeder* telah dilakukan oleh Amanah *et al*, dalam makalah [5] membahas tentang cara pengamanan dari kemungkinan *symphathetic tripping* atau *tripping* ikutan/palsu yang terjadi karena peralatan proteksi salah merespon yang tidak diharapkan. Kejadian seperti ini biasa terjadi pada peralatan pengaman yang terhubung seri pada satu penyulang atau penyulang lain dengan bus yang sama. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan gangguan pada jaringan akibat dari salah respon dari peralatan proteksi. Penelitian ini hanya membahas tentang penggunaan rele gangguan tanah saja dengan menggunakan program bantu delphi. *Tripping* yang diamati adalah *tripping* seri dan *tripping* paralel. Pada makalah ini dilakukan perhitungan besar arus gangguan satu fasa ke tanah pada beberapa penyulang untuk dilakukan *setting* pada peralatan proteksi. Kemudian hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan *setting* yang digunakan oleh PLN. Besar arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah hampir mendekati 1 kA sehingga *setting* peralatan harus benar-benar tepat mengingat arus gangguan yang cukup besar. Nilai

setting pada peralatan harus diperiksa selektifitasnya terlebih dahulu agar tidak terjadi kesalahan *setting* pada peralatan proteksi. Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa *symphathetic tipping* dapat terjadi karena adanya arus kapasitif pada penyulang dan pada penyulang yang menggunakan rele tipe *definit time*. Penanggulangannya adalah dengan menggunakan jenis *invers* karena bekerja sesuai arus gangguan.