

# EVALUASI KOORDINASI RELE PROTEKSI PADA FEEDER DISTRIBUSI TERHADAP KEMUNGKINAN GANGGUAN SYMPHATHETIC TRIPPING PADA GANGGUAN SATU SALURAN KE TANAH

Amanah Kurniawati Ir. Juningtyastuti Mochammad Facta, ST, MT  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto S.H Tembalang Semarang

## Abstrak:

Dalam setiap sistem tenaga listrik selalu digunakan sistem proteksi atau pengaman untuk mengantisipasi apabila terjadi gangguan. Sistem proteksi dan pengaman ini diperlukan untuk memisahkan bagian yang mengalami gangguan dengan yang tidak mengalami gangguan sehingga sistem dapat menjalankan operasinya.

Apabila peralatan proteksi atau pengaman memberikan respon yang salah terhadap gangguan maka terjadi *Symphathetic Tripping*. *Symphathetic tripping* atau pada umumnya disebut *tripping ikutan/palsu* yaitu peristiwa yang menggambarkan kejadian ketika suatu peralatan proteksi pengaman merespon/menanggapi secara salah atau tidak diharapkan pada suatu kondisi atau keadaan sistem tenaga listrik yang sedang mengalami gangguan.

*Symphathetic Tripping* ini dapat terjadi pada peralatan pengaman atau proteksi yang dihubungkan seri pada penyulang yang sama, sehingga apabila terjadi gangguan pada penyulang tersebut maka dua atau lebih peralatan pengaman pada penyulang itu akan mengalami *tripping*. *Symphathetic Tripping* juga dapat terjadi pada penyulang-penyulang lainnya pada bus yang sama.

Hasil penulisan Tugas Akhir ini yaitu dapat meminimalkan gangguan yang terjadi pada Jaringan Tegangan Menengah distribusi yang disebabkan oleh gangguan *Symphathetic Tripping* dengan menggunakan rele gangguan tanah *inverse time* pada gangguan satu saluran ke tanah.

*Kata kunci: penyulang, Jaringan Tegangan Menengah, proteksi, rele inverse time, Symphathetic Tripping, gangguan satu saluran ke tanah.*

## I. PENDAHULUAN

Dalam Sistem Tenaga diperlukan suatu sistem distribusi Jaringan Tegangan Menengah yang dapat menjamin keandalan dan kesinambungan penyaluran, keserasian penyaluran dan penyediaan tenaga listrik antara konsumen dan produsen. Jumlah gangguan pelayanan merupakan indikator untuk mengetahui keandalan suatu sistem Jaringan Tegangan Menengah. Semakin besar jumlah gangguan berarti keandalan sistem semakin rendah, begitu pula sebaliknya apabila semakin kecil jumlah gangguan berarti keandalan sistem semakin tinggi pula.

Salah satu gangguan yang sering terjadi pada sistem Jaringan Tegangan Menengah adalah gangguan yang dikenal sebagai gangguan *Symphathetic Tripping*, dimana suatu proteksi atau pengaman dapat merespon secara salah atau tidak diharapkan pada suatu kondisi atau keadaan sistem tenaga listrik yang sedang mengalami gangguan. Peristiwa ini pada umumnya disebut dengan *tripping ikutan* atau *palsu*.

*Symphathetic Tripping* terjadi pada peralatan proteksi atau pengaman yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Untuk menanggulangi masalah *Symphathetic Tripping* ini maka dapat diatasi dengan menggunakan rele arus lebih dengan karakteristik *inverse time* sebagai pengganti rele *definite time*, hal ini dikarenakan karakteristik rele *inverse time* yang waktu kerjanya bekerja berdasarkan arus gangguan, berbeda dengan *definite time* yang bekerja tidak berdasarkan arus gangguan.

## II. TUJUAN

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah bagaimana cara untuk meminimalkan gangguan yang terjadi pada Jaringan Tegangan Menengah distribusi yang disebabkan oleh gangguan *Symphathetic Tripping*, serta perhitungan dan penganalisaan rele gangguan tanah *inverse time* sebagai cara untuk mengatasi *Symphathetic Tripping* pada gangguan satu saluran ke tanah.

## III. PEMBATASAN MASALAH

Pembatasan masalah dalam Tugas Akhir ini ditekankan pada penganalisaan dan pengevaluasian gangguan *Symphathetic Tripping*:

- > akibat gangguan satu saluran ke tanah dengan studi kasus Gardu Induk Pulomas 1 di Jakarta.
- > Perhitungan setelan waktu kerja rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time*) untuk mengatasi arus yang terjadi pada titik gangguan
- > dengan program bantu Delphi.

## IV. TEORI DASAR

### 4.1 Sistem Jaringan Distribusi

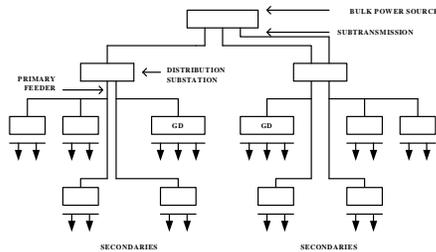
Jaringan distribusi dari Gardu Induk Bulk Supply sampai ke kWh meter di tempat konsumen, terdiri dari dua bagian:

1. Jaringan Sistem Distribusi Primer/Jaringan Distribusi Tegangan Menengah
2. Jaringan Sistem Distribusi Sekunder/Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

Secara umum sistem distribusi dapat digambarkan secara blok diagram seperti gambar 4.1. Fungsi bagian dalam gambar. 4.1 adalah sebagai berikut:

1. Gardu induk distribusi berfungsi menerima tenaga listrik dari jaringan transmisi dengan tegangan transmisi dan meneruskan tenaga listrik dengan tegangan yang diturunkan menjadi tegangan distribusi primer. Gardu Induk distribusi dilengkapi dengan peralatan ukur dan peralatan proteksi.
2. Jaringan primer berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke gardu distribusi /transformator.

- Gardu distribusi/gardu transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan primer menjadi tegangan sekunder yang digunakan konsumen.
- Jaringan sekunder berfungsi menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Jaringan ini dimulai dari sisi tegangan rendah transformator distribusi sampai ke kWh-meter konsumen.

Gambar 4.1 Sistem distribusi<sup>[15]</sup>

Konfigurasi jaringan distribusi primer (tegangan menengah) yang banyak dipergunakan adalah sebagai berikut:

- Jaringan primer pola radial
- Jaringan primer pola ring dan loop
- Jaringan primer pola loop radial
- Jaringan primer pola Grid
- Jaringan primer pola Spindle

#### 4.2 Fungsi dan Persyaratan Rele Pengaman

Fungsi dari rele pengaman pada sistem tenaga listrik sebagai berikut<sup>[17]</sup>:

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

Untuk melaksanakan fungsi di atas maka rele pengaman harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Dapat diandalkan (*reliable*)
- Selektif
- Waktu kerja rele cepat
- Peka (sensitif)
- Ekonomis dan sederhana

#### 4.3 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

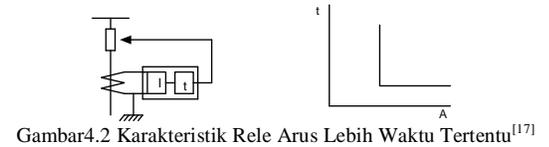
Rele arus lebih yaitu rele yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan jangka waktu tertentu. Fungsi utama dari rele arus lebih ini adalah untuk merasakan adanya arus lebih kemudian memberi perintah kepada pemutus beban (PMT) untuk membuka.

Pengaman dengan menggunakan rele arus lebih mempunyai beberapa keuntungan antara lain:

- Pengamannya sederhana
- Dapat sebagai pengaman cadangan dan pengaman utama
- Harganya relatif murah

#### 1. Rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)

Rele ini memberikan perintah kepada pemutus beban (PMT) pada saat terjadi gangguan bila besar arusnya melampaui penyetelannya (arus setnya) dan jangka waktu kerja rele mulai "*pick up*" sampai kerja rele diperpanjang dengan waktu tertentu dan tidak tergantung pada besarnya arus gangguan.

Gambar4.2 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu<sup>[17]</sup>

Waktu operasi dapat disetel di suatu harga tertentu untuk harga arus yang sama dan lebih besar dari nilai "*pick up*"nya sehingga waktu operasi rele dapat diatur sesuai dengan kebutuhan koordinasi.

Keuntungan dari *Definite Time Relays* yaitu:

- koordinasinya mudah
- waktu kerjanya tidak tergantung oleh perubahan kapasitas pembangkit

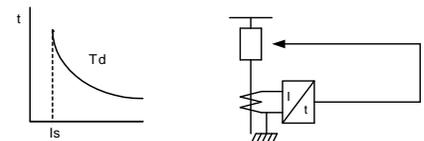
Kelemahannya adalah:

- terjadi komulasi waktu pada rele di hulu, untuk sistem besar, akumulasi waktu tidak diinginkan
- Bila diterapkan pada pengaman gangguan tanah jaringan distribusi radial, bisa menimbulkan masalah simpatetik tripping.

#### 2. Rele arus lebih waktu terbalik (*Inverse Time Relay*)

Rele arus lebih waktu terbalik memberikan perintah kepada pemutus beban (PMT) pada saat terjadi gangguan bila besar arus gangguannya melampaui arus penyetelannya dan jangka waktu kerja rele dari pick up, waktunya berbanding terbalik dengan besar arusnya.

Jadi dapat dikatakan bahwa rele arus lebih waktu terbalik mempunyai waktu operasi yang semakin singkat untuk arus gangguan yang semakin besar dan waktu operasi yang semakin lama untuk arus gangguan yang semakin kecil.

Gambar4.3 Karakteristik rele arus lebih waktu terbalik<sup>[17]</sup>

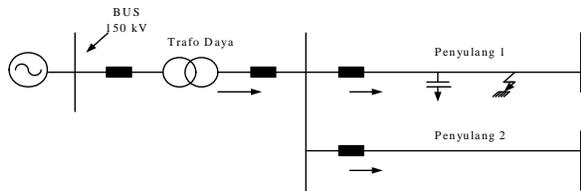
Rele arus lebih waktu terbalik ini dapat dibagi lagi menjadi empat, yaitu:

- Berbanding terbalik (*Inverse*)
- Sangat berbanding terbalik (*very inverse*)
- Sangat berbanding terbalik sekali (*Extremely inverse*)
- Long Inverse*

Perbedaan grafik/kurva dapat dilihat pada gambar 4.4:



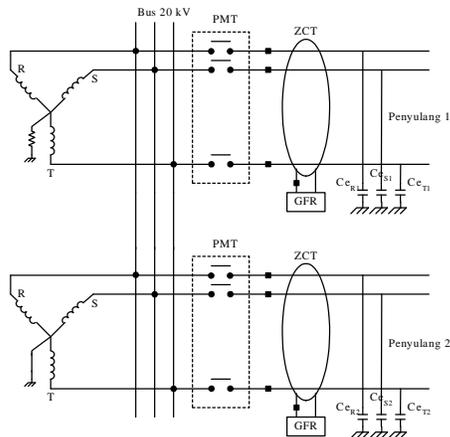
kembali ke sumber melalui konduktor fasa yang terhubung pada bus yang sama di Gardu Induk (dalam hal ini arus kapasitif penyulang 2 mengalir ke sumber melalui penyulang 1), maka ketidakseimbangan arus kapasitif dari penyulang yang lain juga akan kembali ke sumber melalui konduktor fasa di penyulang yang terganggu.



Gambar 5.3 Jaringan distribusi yang dipasang dari Gardu Induk<sup>[21]</sup>

**Keadaan Sistem Sebelum dan Sesudah Gangguan**

Pada gambar 5.4 dapat dilihat gambar penyulang sebelum terjadi gangguan. Penyulang sebelum terkena gangguan, masih dalam keadaan normal. Pada sistem kondisi normal, antara konduktor fasa dan tanah akan mempunyai nilai kapasitansi yang dianggap sama pada masing-masing fasanya walaupun jarak antara konduktor fasa ke tanah belum tentu sama untuk masing-masing fasanya. Jadi jarak konduktor fasa ke tanah tidak mempengaruhi besarnya kapasitansi saluran.



Gambar 5.4 Penyulang 20 kV<sup>[10]</sup>

Keterangan gambar:

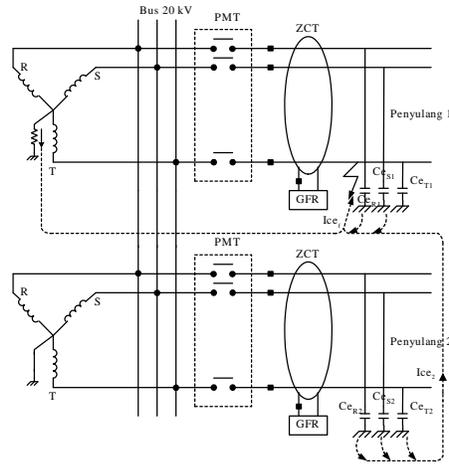
- $C_{eR1}, C_{eS1}, C_{eT1}$  : kapasitansi ke tanah masing-masing fasa penyulang 1
- $C_{eR2}, C_{eS2}, C_{eT2}$  : kapasitansi ke tanah masing-masing fasa penyulang 2
- ZCT : Zero Current Transformator = trafo arus

Sesudah terjadi gangguan sistem gambar 3.8 yaitu gangguan satu fasa ke tanah yang terjadi pada salah satu penyulang, misalkan terjadinya di fasa T penyulang 1. Maka kapasitansi konduktor fasa yang terganggu menjadi terhubung singkat oleh gangguan tanah tersebut, sedangkan fasa yang tidak terganggu (fasa R dan fasa S) tegangannya naik sehingga arus kapasitif hanya mengalir pada di fasa yang sehat saja dan mengalir kembali ke sumber melalui titik yang terganggu di fasa T, karena fasa T sedang terhubung ke tanah seperti pada gambar 3.9.

Apabila penyulang lebih dari satu, maka analog dengan uraian arus kapasitif di penyulang yang terganggu, di penyulang lain yang sehat juga akan mengalirkan arus kapasitif ke tanah ( $I_{ce2}$ ) dan akan kembali ke sumber melalui titik gangguan di penyulang yang terganggu. Arus kapasitif pada titik gangguan ini merupakan gabungan dari

arus kapasitif penyulang yang sehat dan arus kapasitif penyulang yang terganggu ( $I_{ce1}$ ). Arus kapasitif dari penyulang yang sehat ini dideteksi oleh ZCT (Zero Current Transformator) feeder yang terganggu.

Gambar 5.5 menggambarkan rangkaian penyulang sesudah terjadi gangguan.



Gambar 5.5 Penyulang 20 kV pada gangguan satu fasa ke tanah<sup>[10]</sup>

**Gangguan Satu Fasa Ke Tanah Pada Saluran Distribusi 20 kV**

**5.4.1 Arus gangguan tanah**

Arus kapasitif tidak tergantung dari tempat terjadinya gangguan dan hanya tergantung dari kapasitansi jaringan ke tanah. Karena adanya kapasitansi antara konduktor fasa dan tanah pada jaringan itu masing-masing, arus kapasitif yang tidak seimbang sewaktu terjadi gangguan satu fasa ke tanah akan mengalir ke sumber melalui konduktor tiga fasa yang terganggu tersebut di titik gangguan, tetapi karena ada beberapa penyulang yang terhubung pada bus yang sama di gardu induk, maka ketidakseimbangan arus kapasitif dari penyulang lain juga akan kembali ke sumber melalui konduktor fasa di penyulang yang terganggu, sehingga arus kapasitif di penyulang terganggu ini menjadi lebih besar lagi menuju ke sumber, yang kemudian mentripikan PMT penyulang yang terganggu oleh rele gangguan tanah.

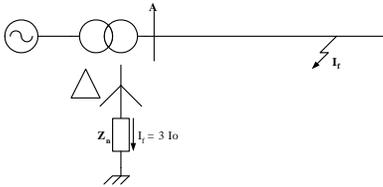
Terlihat pada gambar 5.5 bahwa penyulang yang sehat teraliri arus kapasitifnya sendiri oleh ZCT juga menghasilkan induksi arus yang diteruskan ke GFR. Bila arus kapasitif ini cukup besar sampai melebihi  $I_{set}$ , maka GFR penyulang sehatpun ikut pick up dan menghitung waktu untuk memberikan tripping ke PMT. Arus kapasitif jaringan distribusi besarnya<sup>[10]</sup>:

$$I_{ce} = 3 \cdot E_{ph} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_e \tag{5}$$

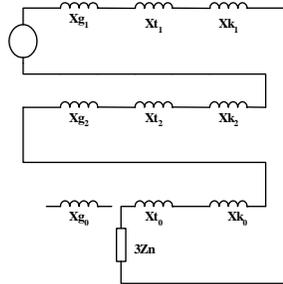
- Keterangan :  $E_{ph}$  = tegangan fasa ke netral
- $C$  =kapasitansi urutan nol dalam sistem

**5.4.2 Arus Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah Pada Saluran Primer 20kV**

Gambar 5.6 menggambarkan diagram segaris gangguan 1 fasa ke tanah sedangkan gambar 5.7 menggambarkan rangkaian ekuivalen gangguan satu fasa ke tanah.



Gambar 5.6 Arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada saluran

Gambar 5.7 Rangkaian ekuivalen gangguan satu fasa ke tanah<sup>[18]</sup>

Dari gambar 5.7 dapat dijelaskan dengan rumus sebagai berikut<sup>[18]</sup>:

$$\begin{aligned} \frac{1}{3} I_f &= I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \\ \frac{1}{3} I_f &= \frac{E_{ph}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \\ Z_1 &= X_{g1} + X_{l1} + X_{k1} \\ Z_2 &= X_{g2} + X_{l2} + X_{k2} \\ Z_0 &= X_{l0} + X_{k0} + 3Z_n \end{aligned} \quad (6)$$

### 5.4.3 Arus di Titik Gangguan

Arus gangguan  $I_{fault}$  terdiri dari arus kapasitif ( $I_R$ ) dan Arus resistif ( $I_{ce}$ )

#### ➤ Arus Resistif ( $I_R$ )

Arus ini juga merupakan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Bila terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah pada saluran maka arus gangguan satu fasa ke tanah dihitung dengan teori komponen simetris dengan nilai tegangan fasa sebelum terjadi gangguan tersebut. Maka besar arus resistifnya sama dengan besar arus gangguan seperti pada rumus di bawah<sup>[10]</sup>:

$$\frac{I_R}{3} = \frac{E_{ph}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (7)$$

$$I_R = I_f = I_{hs(\text{hubung singkat})} = \frac{3 \cdot E_{ph}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

#### ➤ Arus kapasitif ( $I_{ce}$ )

Arus kapasitif ini tidak tergantung dari tempat terjadinya gangguan tapi hanya tergantung dari kapasitansi sistem ke tanah. Merupakan arus kapasitif pada fasa-fasa yang sehat pada penyulang terganggu. Dapat kita lihat pada gambar 5.5 dimana fasa R dan S sehat sehingga mengalir arus kapasitif  $I_{ce_{S1}}$  dan  $I_{ce_{R1}}$

$$\frac{I_n}{3} = I_{ce} = E_{ph} \cdot \omega \cdot C_e \quad (8)$$

$$I_{ce} = 3E_{ph} \cdot \omega \cdot C_e = 3 \cdot E_{ph} \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_e \quad (9)$$

Maka  $I_{fault}$  dapat dihitung dengan:

$$I_{fault} = I_R + I_{ce_{R1}} + I_{ce_{S1}} + I_{ce_{R2}} + I_{ce_{S2}} \quad (10)$$

Yang jika dijumlahkan secara vektoris adalah<sup>[21]</sup>:

$$I_{fault} = \sqrt{(I_{R(\text{penyulang-terganggu})})^2 + (\sum I_{ce(\text{penyulang-sehat})})^2} \quad (11)$$

Keterangan:

$E_{ph}$  = Tegangan fasa-netral

$R_N$  = tahanan NGR

$I_R$  = arus resistif dari titik netral trafo ke tanah melalui NGR

$I_{ce_{R1}}$  = arus kapasitif fasa R penyulang 1 saat gangguan fasa T ke tanah

$I_{ce_{R2}}$  = arus kapasitif fasa R penyulang 2 saat gangguan fasa T ke tanah

$I_{ce_{S2}}$  = arus kapasitif fasa S penyulang 2 saat gangguan fasa T ke tanah

$C_e$  = kapasitansi jaringan per fasa ke tanah

### Komponen Arus gangguan Hubung Singkat

Data trafo tenaga yang perlu diketahui: kapasitas, volt primer dan sekunder, belitan delta, CT ratio, impedansi trafo, tahanan pentanahan, MVA hubung singkat.

Untuk memperoleh impedansi sumber yang ada di belakang bus 150 kV dengan data MVA hubung singkat dengan menggunakan rumus<sup>[2]</sup>:

$$Z_s = \frac{(kV)^2}{MVA_{hs}} \quad (12)$$

Data penyulang yang diperlukan adalah: R (tahanan), L (induktansi), C (kapasitansi).

Besarnya resistansi secara kilometer dari sebuah kawat diberikan harga perkiraan sebagai berikut:

➤ Tembaga (Copper)  $R(\Omega) = \frac{18}{S(mm^2)}$  (13)

➤ Aluminium  $R(\Omega) = \frac{30}{S(mm^2)}$  (14)

➤ Almenec  $R(\Omega) = \frac{33}{S(mm^2)}$  (15)

➤ Aluminium Iron  $R(\Omega) = \frac{36}{S(mm^2)}$  (16)

Dimana S : penampang melintang (*cross section*) dari kawat dalam  $mm^2$

Reaktansi per kilometer setiap fasa untuk SKTM kira 0,08  $\Omega/km$

Besarnya arus gangguan satu fasa ke tanah pada pentanahan dengan tahanan dibatasi 25 sampai dengan 60 % arus gangguan tiga fasa<sup>[18]</sup>:

Untuk  $I_{1\phi} = 60\% I_{3\phi}$

$$\frac{3E_{ph}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{E_{ph}}{Z_1} \times 0,6$$

$$3Z_1 = 1,2 Z_1 + 0,6 Z_0$$

$$Z_0 = 3 Z_1$$

Maka standar perhitungan PLN untuk mencari impedansi urutan positif dan impedansi urutan nol untuk mencari arus hubung singkat adalah sebagai berikut<sup>[13]</sup>:

$$Z_0 = 3Z_1 \quad (17)$$

$$Z_1 = Z_2$$

Sedangkan untuk mencari arus kapasitif dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$(18)$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

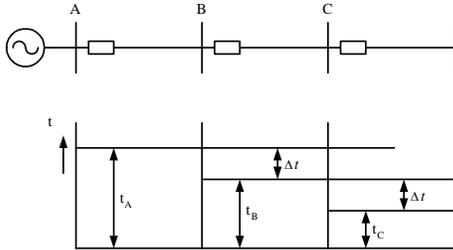
maka arus kapasitif dapat dicari<sup>[13]</sup>:

$$I_c = \frac{3E_{ph}}{X_c} p \quad (19)$$

dimana :  $C$  : kapasitansi saluran perkilometer  
 $p$  : panjang saluran dalam kilometer

### Penggunaan Rele Gangguan Tanah dengan Karakteristik Waktu Tertentu (*Definite Time Relay*) Untuk Mengatasi Gangguan 1 Fasa Ke Tanah

Rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time relay*) adalah suatu rele yang waktu mulai sampai berakhirnya operasinya, waktu setelahnya ditentukan dan tidak bergantung pada besarnya arus yang menggerakannya.



Gambar5.8 Koordinasi rele gangguan tanah dengan waktu tertentu<sup>[10]</sup>

Waktu kerja rele yang paling jauh dari sumber dipilih yang paling cepat. Untuk mendapatkan selektivitas tripping dengan rele gangguan tanah di sisi sebelah hulu (mendekati sumber) maka diberi grading time sebesar 0,4 detik<sup>[22]</sup>:

$$t_B = t_C + \Delta t \quad \text{biasanya} \quad \Delta t = 0,4 \text{ detik} \quad (20)$$

$$t_A = t_B + \Delta t \quad (21)$$

Keuntungan rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*):

- Koordinasinya mudah atau sederhana, hanya dengan peningkatan waktu (*time grading*)
- Waktu kerjanya, jadi juga koordinasinya, tidak terpengaruh oleh perubahan kapasitas pembangkitan

Kerugian rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time relay*):

- Terjadi kumulasi waktu pada rele di dekat sumber, makin dekat ke sumber waktu kerjanya makin panjang, padahal arus gangguannya makin besar
- Dapat menimbulkan masalah Symphathetic Tripping

Setelah jaringan distribusi yang harus ditarik konsumen tersebar luas, menyebabkan kapasitansi jaringan per penyulang menjadi membesar. Sehingga setiap kali terjadi gangguan tanah di jaringan, menyebabkan arus kapasitif yang masuk ke rele gangguan tanah sudah tidak mampu membuat rele tersebut pick-up. Jadi rele gangguan tanah di beberapa penyulang trip secara bersamaan, kejadian inilah yang mengakibatkan adanya masalah Symphathetic Tripping dan penyelesaian masalah ini dengan cara menggunakan pengaman gangguan tanah dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time relay*).

### Rele Gangguan Tanah Dengan Karakteristik Waktu Terbalik (*Inverse Time Relay*)

Yang dimaksud dengan rele katakarakteristik waktu terbalik (*Inverse Time Relay*) adalah rele yang bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus. Pada rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time relay*) diharapkan bekerja lebih cepat

pada arus yang besar yang masuk ke rele, sehingga rele yang dekat pada titik gangguan diharapkan bekerja relatif lebih cepat. Dengan demikian hanya jaringan yang terkena gangguan saja yang dibuka (*selected tripping*). Rele gangguan tanah karakteristik waktu terbalik akan bekerja pada waktu dan arus lebih tertentu. Untuk memungkinkan adanya *selected tripping* dari gangguan tanah yang mengandung arus resistif dan arus kapasitif (penyulang terganggu) bekerja lebih cepat dari rele gangguan tanah di penyulang yang sehat maka sebaiknya dipakai rele dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time relay*).

Apabila dipakai rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) waktu bekerjanya tertentu setelah rele ini *pick-up*. Sehingga menghasilkan tripping yang serentak pada penyulang yang terganggu satu fasa ke tanah dan penyulang sehat yang hanya karena pick-up oleh arus kapasitif. Akibatnya rele dengan waktu tertentu (*definite time*) menjadi tidak sesuai untuk pengamanan sistem dengan banyak penyulang yang terpaksa ditripping termasuk saluran distribusi yang penting.

Pemakaian rele gangguan tanah dengan waktu tertentu (*definite time*) yang semula bertujuan untuk menanggulangi masalah gangguan satu fasa ke tanah, dengan cara hitungan koordinasi yang paling mudah tetapi malahan membuat arus kapasitif pada penyulang sehat masuk ke rele pada penyulang yang tidak sehat, sehingga akan mengakibatkan terjadinya peristiwa Symphathetic Tripping Penanggulangan masalah Symphathetic Tripping ini dengan pemakaian rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time relay*). Waktu kerja rele untuk rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu terbalik (*Inverse Time Relay*) pada waktu normal digunakan persamaan 2.2 tinggal memasukkan perbandingan arus hubung singkat dan arus settingnya.

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left\{ \left( \frac{I_f}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}} \quad (22)$$

Apabila penyulang sedang mengalami gangguan maka digunakan  $I_{fault}$  (arus di titik gangguan) untuk mencari waktu kerja rele. Sedangkan cara mencari arus di titik gangguan menggunakan persamaan 11.

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left\{ \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}} \quad (23)$$

Sedangkan waktu kerja rele di penyulang lain yang tidak mengalami gangguan, digunakan arus kapasitif dari masing-masing penyulang tersebut.

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left\{ \left( \frac{I_c}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}} \quad (24)$$

### Data Penelitian

#### 1. Data Trafo Tenaga

Sebagai studi kasus untuk dievaluasi diambil Gardu Induk Pulomas..Data yang harus diketahui yaitu:

- Kapasitas = 60 MVA

- Volt primer = 150 kV
- Volt sekunder = 20 kV
- Belitan delta = 2,568
- CT ratio = 400/5
- Impedansi trafo = 12,835%
- Tahanan pentanahan = 12 Ω

## 2. Data Penyulang 20 kV

Data penyulang dapat dilihat pada table 5.1:

Tabel 5.1 Data penyulang 20 kV

No	Penyulang	Panjang	Setting Proteksi Ground Fault	
			I(set)	Tms
1	Merpati	10,65	0,75	0,1
2	Nandi	6,41	0,75	0,1
3	Tekukur	11,32	0,75	0,1
4	Parkit	13,4	0,75	0,1
5	Kasuari	11,35	0,75	0,1
6	Kutilang	30,12	0,75	0,1
7	Bangau#	10,11	0,75	0,1

Pada studi kasus ini diambil contoh penyulang yang terhubung dalam 1 Gardu Hubung. Parameter yang sama pada setiap penyulang yaitu:

- Dipakai kabel Aluminium dengan penampang 240 mm<sup>2</sup> maka:

$$R = \frac{30}{S(mm^2)} = \frac{30}{240} = 0,125\Omega/km$$

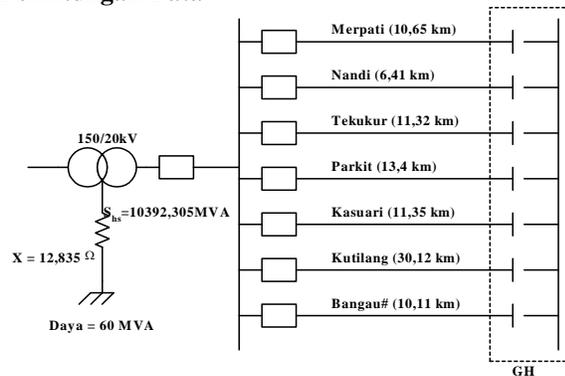
- Induktansi  $L = 0,28 \cdot 10^{-3}H/km$  maka reaktansi induktansi:

$$X_L = j2.50.\pi.L = j,088\Omega/km$$

- Kapasitansi  $C = 0,45 \cdot 10^{-6} F/km$  maka reaktansi kapasitansi:

$$X_C = \frac{1}{2\pi.f.C} = 7077,141\Omega/km$$

## 5.9 Perhitungan Data



Gambar 5.9 GI Pulomas yang dihubungkan dengan Gardu Hubung 03

## 1. Data trafo tenaga

Impedansi sumber yang ada di belakang bus 150 kV dapat dihitung dengan data MVA hubung singkat dengan menggunakan rumus:

$$Z_{sumber} = \frac{(kV)^2}{MVA_{hs}} = \frac{(20kV)^2}{10392,305} = 0,038\Omega$$

Perhitungan  $Z_{sumber}$  di atas dipakai karena anggapan bahwa impedansi sumber tersebut lebih dominan nilai reaktansinya, sementara nilai resistansinya kecil sekali dan dianggap sama dengan nol, maka impedansi sumber tersebut sebesar  $(0+j0,038)$  Ohm.

Impedansi trafo dapat dicari dengan rumus:

$$X_r = 12,835\% \cdot \frac{(20kV)^2}{60MVA} = \frac{12,835}{100} \cdot \frac{(20000)^2}{60000000} = 0,856\Omega$$

Sedangkan untuk arus nominal trafo dicari dengan

$$I_{n20kV} = \frac{60 \cdot 10^3}{20 \cdot \sqrt{3}} = 1732,051A$$

## 2. Impedansi urutan nol, positif dan negatif

Sebagai contoh perhitungan untuk mencari impedansi urutan nol, positif dan negatif diambil penyulang 1 yaitu penyulang Merpati, diketahui:

$$R = 0,125\Omega/km$$

$$X_L = j0,088\Omega/km$$

$$X_C = j7077,141\Omega/km$$

$$\text{Panjang penyulang} = 10,652 \text{ km}$$

- 25% panjang penyulang = 2,663 km

- 50% panjang penyulang = 5,326 km

- 75% panjang penyulang = 7,989 km

- 100% panjang penyulang = 10,652 km

Berdasarkan data-data di atas dapat dicari impedansi urutan:

Untuk 25% panjang penyulang

Impedansi urutan positif dan negatif kabel ( $Z_{1kabel} = Z_{2kabel}$ )

$$Z_{1kabel\ 25\%} = Z_{2kabel\ 25\%} = (0,125 + j0,088) \times 2,663 = 0,333 + j0,234$$

Impedansi urutan nol ( $Z_{0kabel}$ )

$$Z_{0kabel\ 25\%} = 3(0,333 + j0,234) = 0,999 + j0,702$$

Dengan cara yang sama didapatkan hasil seperti pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Impedansi urutan

No	Peny	Impedansi Urutan Nol, Positif & Negatif			
		25%		50%	
1	Merpati	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
		0,333+j0,08	0,999+j0,70	0,666+j0,46	1,998+j1,407
		75%		100%	
		$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
2	Nandi	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
		0,2+j0,141	0,6+j0,423	0,401+j0,28	1,203+j1,846
		75%		100%	
		$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
3	Tekukur	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
		0,354+j0,24	1,064+j0,74	0,708+j0,49	2,124+j1,494
		75%		100%	
		$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
4	Parkit	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
		0,201+j0,14	0,603+j0,42	0,838+j0,59	2,514+j1,77
		75%		100%	
		$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
5	Kasuari	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
		0,355+j0,2	1,065+j0,75	0,709+j0,49	2,127+j1,497
		75%		100%	
		$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
6	Kutilang	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
		0,941+j0,06	2,823+j0,18	1,883+j0,12	5,649+j0,36
		75%		100%	
		$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
7	Bangau #	$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
		0,316+j0,0	0,948+j0,06	0,632+j0,04	1,896+j0,12
		75%		100%	
		$Z_1=Z_2$	$Z_0$	$Z_1=Z_2$	$Z_0$
		0,948+j0,06	2,844+j0,18	1,264+j0,08	3,792+j0,243

3. Kapasitansi

Reaktansi kapasitif dapat dicari dengan menggunakan kapasitansi.

$$C_e = 0,45 \cdot 10^{-6}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C_e} = \frac{1}{2,3 \cdot 14,50 \cdot (0,45 \cdot 10^{-6})} = 7077,14 \Omega$$

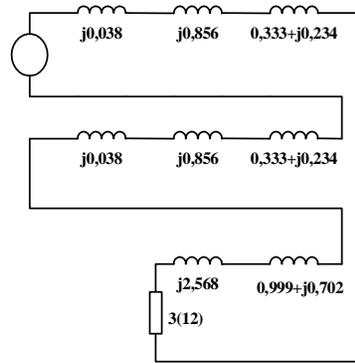
Berdasarkan standar perhitungan PLN [13]

$$I_{C1} = \frac{3,20 \cdot 10^3}{X_{C1} \cdot \sqrt{3}} \cdot P = \frac{3,20 \cdot 10^3}{7077,141 \cdot \sqrt{3}} \cdot 10,65 = 52,13 A$$

Besarnya arus kapasitansi dapat dicari sebagai berikut:

- $I_{c1} = 52,13$  Ampere
- $I_{c2} = 31,376$  Ampere
- $I_{c3} = 55,409$  Ampere
- $I_{c4} = 65,59$  Ampere
- $I_{c5} = 55,56$  Ampere
- $I_{c6} = 147,43$  Ampere
- $I_{c7} = 49,486$  Ampere

Perhitungan Arus Hubung Singkat  
Arus Hubung Singkat 25% Panjang penyulang 1



Gambar 5.10 Rangkaian ekuivalen arus hubung singkat 25% panjang penyulang

$$R = 3 \cdot R_{ngr} + R_{Z0kab 25\%} + 2R_{Z1kab 25\%} = 3(12) + 0,999 + 2(0,333) = 37,665$$

$$X = 2X_{sumber} + 2X_{trafo} + X_{delta} + X_{Z0kab 25\%} + 2X_{Z1kab 25\%}$$

$$X = 2(0,038) + 2(0,856) + 2,568 + 0,702 + 2(0,234) = 5,526$$

Arus hubung singkat untuk 25% panjang penyulang dapat dihitung:

$$R + jX = \sqrt{(37,665)^2 + (5,526)^2} = 38,068$$

$$I_{f125\%} = I_{R125\%} = \frac{3E_{ph}}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = \frac{3 \cdot 20 \cdot 1000}{\sqrt{3}(38,068)} = 909,977 A$$

Dengan cara yang sama didapatkan hasil seperti pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Tabel Arus Hubung Singkat

No	Penyulang	Arus Hubung Singkat (A)			
		25%	50%	75%	100%
1	Merpati	909,977	868,261	829,844	794,373
2	Nandi	927,594	901,171	876,145	852,303
3	Tekukur	907,189	863,263	805,418	785,956
4	Parkit	927,47	848,026	802,228	760,605
5	Kasuari	907,094	863,134	822,69	785,546
6	Kutilang	836,356	741,397	664,652	601,417
7	Bangau#	912,206	872,372	835,779	813,418

Jika dilihat pada tabel 5.3, arus hubung singkat semakin kecil untuk letak yang semakin jauh (persentase panjang penyulang semakin besar), hal ini dikarenakan arus hubung singkat yang berbanding terbalik dengan  $Z_0$ ,  $Z_1$  dan  $Z_2$ . Besarnya  $Z_0$ ,  $Z_1$  dan  $Z_2$  secara langsung tergantung pada resistansi dan reaktansi kabel yang berbanding lurus dengan panjang konduktor. Oleh karena itu semakin jauh letak gangguan (persentase semakin besar) semakin kecil pula arus hubung singkat, begitu pula sebaliknya.

Perhitungan Arus Di titik Gangguan

Pada gambar 5.11, gangguan terjadi di penyulang 1, arus di titik gangguan merupakan jumlah resultante dari arus hubung singkat dan jumlah arus kapasitif dari penyulang-penyulang yang sehat. Sebagai contoh gangguan terjadi pada 25% panjang penyulang maka besarnya arus di titik gangguan dapat dicari dengan persamaan 11:



- Waktu kerja pada penyulang 1 dengan gangguan pada penyulang lain:

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left\{ \left( \frac{I_{C1}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}} = \frac{0,14 \times 0,2}{\left\{ \left( \frac{52,13}{79,437} \right)^{0,02} - 1 \right\}} = -1,7$$

tidak bekerja

Dengan contoh di atas dapat dibuat tabel 5.6 sebagai berikut:

Tabel 5.6. Tabel waktu kerja rele

	%p													
	Peny.1		Peny.2		Peny.3		Peny.4		Peny.5		Peny.6		Peny.7	
	P.1	P.1	P.2	P.2	P.3	P.3	P.4	P.4	P.5	P.5	P.6	P.6	P.7	P.7
25%	0,3	-	0,3	-	0,3	-	0,3	-	0,3	-	0,3	-	0,3	-
50%	0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3	
75%	0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3	
100%	0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3	

Tanda - berarti rele tidak bekerja  
Dilihat dalam tabel di atas selektivitas terpenuhi

Dapat dilihat pada tabel 5.6 bahwa rele gangguan tanah pada penyulang terganggu bekerja pada saat terjadi gangguan sedangkan pada penyulang lain yang sehat rele tidak bekerja. Misalkan saja gangguan terjadi penyulang 1, maka rele gangguan tanah pada penyulang 1 bekerja sedangkan rele gangguan tanah pada penyulang 2, 3, 4, 5, 6, dan penyulang 7 tidak bekerja, sehingga tidak terjadi gangguan Symphathetic Tripping. Karena hal inilah maka dapat dikatakan bahwa selektivitas terpenuhi.

**Perbandingan dengan Data PLN**

Untuk perbandingan dipakai data yang diterapkan PLN seperti pada tabel dalam lampiran. Untuk contoh diambil penyulang 1 pada 25% panjang penyulang.

$$t = 0,22$$

- Waktu kerja pada penyulang 1 yang terjadi gangguan

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left\{ \left( \frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}} = \frac{0,14 \times 0,1}{\left\{ \left( \frac{995,973}{40} \right)^{0,02} - 1 \right\}} = 0,21$$

- Waktu kerja penyulang 1 pada gangguan yang terjadi di penyulang lain

$$t = \frac{0,14 \times tms}{\left\{ \left( \frac{I_{C1}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}} = \frac{0,14 \times 0,2}{\left\{ \left( \frac{52,13}{40} \right)^{0,02} - 1 \right\}} = 5,27$$

Dengan cara yang sama didapatkan hasil pada tabel 4.8.

Dari perbandingan waktu kerja rele gangguan tanah pada tiap-tiap penyulang untuk gangguan tanah yang terjadi di salah satu penyulang memberikan gambaran bahwa Symphathetic Tripping dapat pula diatasi dengan menggunakan rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time relay*).

Tabel 5.7 Waktu kerja rele berdasarkan data PLN

%p	Waktu kerja (detik)													
	Peny.1		Peny.2		Peny.3		Peny.4		Peny.5		Peny.6		Peny.7	
	P.1	P.1	P.2	P.2	P.3	P.3	P.4	P.4	P.5	P.5	P.6	P.6	P.7	P.7
25%	0,2	5,2	0,2	-	0,2	-	0,2	15,	0,2	-	0,2	1,5	0,2	-
50%	0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2	
75%	0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2	
100%	0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2	

Tanda - berarti rele tidak bekerja  
Dilihat dalam tabel di atas selektivitas terpenuhi

Dapat terlihat dari tabel 5.7 bahwa waktu kerja tetap apabila arus kapasitif dimasukkan dalam perhitungan ataupun tidak. Nilai waktu kerja yang berbeda untuk penyulang pada waktu terganggu maupun dalam keadaan sehat membuktikan bahwa selektivitas terpenuhi. Nilai  $t = 0,25$  yang dipakai PLN digunakan karena pada saat 0,25 detik rele mulai pick-up.

Apabila dilihat dalam tabel 5.7 gangguan Symphathetic Tripping akibat arus kapasitif sudah lagi terjadi, karena perbedaan waktu kerja antara rele gangguan tanah di penyulang terganggu dan rele gangguan tanah di penyulang sehat yang menunjukkan selektivitas terpenuhi. Rele gangguan tanah pada penyulang sehat bekerja lebih lama daripada rele gangguan tanah di penyulang terganggu. Sehingga rele gangguan tanah pada penyulang terganggu terjadi trip PMT sedangkan rele gangguan tanah yang dipasang pada masing-masing penyulang sehat tidak sempat trip karena gangguan tanah sudah diatasi oleh penyulang yang terganggu, sehingga tidak terjadi gangguan Symphathetic Tripping. Oleh karena itu dapat dikatakan selektivitas terpenuhi.

**6. KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari hasil analisis evaluasi koordinasi rele proteksi pada feeder distribusi terhadap kemungkinan gangguan Symphathetic Tripping pada gangguan satu saluran ke tanah dapat diperoleh beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

- Salah satu penyebab Symphathetic Tripping paralel adalah adanya arus kapasitif pada masing-masing penyulang, sedangkan pada sistem Jaringan Tegangan Menengah pada umumnya dipakai rele gangguan tanah dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time relay*). Penggunaan rele *definite time* ini akan menyebabkan Symphathetic Tripping karena waktu kerjanya tertentu setelah rele ini *pick up* sehingga menghasilkan tripping yang serentak pada penyulang yang terganggu dan penyulang sehat yang hanya *pick up* oleh arus kapasitif.
- Penanggulangan masalah Symphathetic Tripping dapat menggunakan rele karakteristik waktu terbalik (*inverse time relay*) karena bekerja sesuai besarnya arus gangguan (persamaan 4.1 sampai persamaan 4.3 dan gambar 4.1)

3. Besarnya arus hubung singkat berbanding terbalik dengan letak gangguan (persentase letak gangguan seperti tabel 4.4).
4. Besarnya arus gangguan berbanding terbalik dengan letak gangguan (persentase letak gangguan seperti tabel 4.5).
5. Waktu kerja pada kondisi gangguan rele *inverse time* memperhitungkan arus kapasitif penyulang sehat yang mengalir melalui konduktor penyulang terganggu (tabel 4.7).
6. Waktu kerja pada penyulang sehat pada kondisi gangguan pada penyulang lain dipengaruhi oleh besarnya arus kapasitif pada penyulang tersebut (tabel 4.7).
7. Apabila waktu kerja tetap pada kondisi normal dan pada saat gangguan membuktikan selektivitas terpenuhi (tabel 4.8).
8. Apabila perbedaan waktu kerja antara penyulang sehat dengan penyulang yang mengalami gangguan > 0,4 detik maka dapat dikatakan selektivitas terpenuhi (tabel 4.8).

## 5.2 Saran

Berdasarkan analisa hasil dan kesimpulan dari penulisan tugas akhir ini, maka dapat disarankan bahwa: Besarnya arus kapasitif sangat berpengaruh dalam menentukan waktu kerja rele. Pada PT. PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang, perhitungan besarnya arus kapasitif tidak berdasarkan kapasitansi saluran hanya dipakai batasan arus sebesar 5 Amper per km panjang saluran. Hal ini bisa berakibat terjadinya gangguan Symphathetic Tripping walaupun sudah digunakan rele *inverse time* maupun IDMT. Oleh karena itu hal tersebut di atas perlu diperhatikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Blackburn, JL. Applied Protective Relaying. Westinghouse Electric Corporation, 1976.
- [2]. Brunet. MV Network Protection System Adjustment of Protection Devices. SOFRELEC, 30 September 1974, Jakarta.
- [3]. Diktat Kuliah Perencanaan Sistem Tenaga. Jurusan Teknik Elektro, UNDIP, Semarang.
- [4]. Djiteng Marsudi. Operasi Sistem Tenaga Listrik. Balai Penerbit dan Humas ISTN, Jakarta, 8 Juni 1990.
- [5]. GEC Measurement. Protective Relays Application Guide. Building+Mansell UK Limited, London & Wishect.
- [6]. Gonen, Turen. Modern Power System Analysis. California State University, Sacramento, California.
- [7]. Hutauruk. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Erlangga, 1991.
- [8]. Juningtyastuty Astika, Ir. Diktat Kuliah Proteksi. Jurusan Teknik Elektro, UNDIP, Semarang.
- [9]. Lokakarya Bidang Proteksi UDIKLAT, Semarang. PT. PLN Kantor Pusat Direktorat Pengusahaan Kerjasama dengan PT. PLN (Persero) PUSDIKLAT, 1995.
- [10]. Mochammad Facta, ST. MT. Simpatetik Tripping. Seminar Proteksi Teknik Elektro, UNDIP, Semarang.
- [11]. Pentanahan Netral Sistem Transmisi, Sub Transmisi, dan Distribusi Beserta Pengamannya. SPLN 2:1978.
- [12]. Pedoman Penerapan Sistem Distribusi 20 kV, Fasa 3, 3 Kawat Dengan Tahanan Rendah dan Tahanan Tinggi. SPLN 26 : 1980.
- [13]. Perhitungan Arus gangguan Hubung Singkat dan Penyetelan Relai. Standar Perhitungan PT. PLN (Persero) Unit Bisnis Jakarta Raya dan Tangerang..
- [14]. Pola Pengamanan Sistem Distribusi. Rensis (Rencana Sistem), Program Training Petugas Operasi, 1987.
- [15]. PT. PLN (Persero). Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang, Unit Pengatur Distribusi.
- [16]. Robert E. Owen. Solution to Symphathetic Tripping of Distribution Feeder. Mc. Graw Edison. Co, Canonsburg, Pennsylvania.
- [17]. Soekarto, J. Proteksi Sistem Distribusi Tegangan Menengah. LMK PT. PLN (Persero).
- [18]. Soekarto, J. Relai Proteksi Periode 2. LMK PT. PLN (Persero), Jakarta.
- [19]. Stevenson, Jr. Analisa Sistem Tenaga. Erlangga, 1996.
- [20]. Sulasno, Ir. Analisa Sistem Tenaga Listrik. Satya Wacana Semarang, 1993
- [21]. Titarenko, M & Dukelsky, Noskov. Protective Relaying In Electrical System. Peace Publishers, Moscow.
- [22]. Transparansi Diklat Relai. PT. PLN (Persero) UDIKLAT, Semarang.
- [23]. T.S. Madhava, Rao.. Power system Protection Static Relays. Tata McGraw-Hill Publishing Co. Limited, New Delhi, 1979
- [24]. Warrington, A.r. Van C. Protective Relays Their Theory and Practice Volume One. Chapman and Hall, New York.

### Amanah Kurniawati

Mahasiswa jurusan teknik elektro konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Angkatan '97 (L2F 097 606)

Mengetahui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2

**Ir. Juningtyastuti**

**Mochammad Facra, ST, MT**