

Jurnal Teknologi Elektro

Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Universitas Mercu Buana

<http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jte>

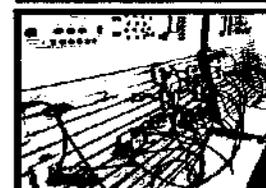


UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Volume 3, Nomor 3, September 2012

ISSN: 2086-9479

ANALISA IMPLEMENTASI DAN RANCANGAN TRANSMISI MICROWAVE RADIO LINK DIGITAL Mudrik alaydrus	116
ANALISA PENGARUH KERJA TURBIN UAP DAN BEBAN JARINGAN TERHADAP KELUARAN GENERATOR SINKRON DI PLTU UNIT 4 TANJUNG PRIOK Mustari Lamma	121
KOORDINASI PROTEKSI RELAI ARUS LEBIH PADA JARINGAN SPINDEL TEGANGAN MENENGAH 20 kV Badaruddin	125
ANALISA JARINGAN OPTIK PERUSAHAAN GAS NEGARA BERBASIS TEKNOLOGI SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY (SDH) Said Attammimi	136
SISTEM PENANGANAN BANJIR BERBASIS PLC Yudhi Gunardi	143
ANALISA SISTEM PENGUKURAN KARAKTERISTIK LCD PANEL UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA LCD TV Andi Adriansyah	149
IMPLEMENTASI SERVER ASTERISK UNTUK MENDUKUNG TEKNOLOGI NEXT GENERATION NETWORK DI PT. APLIKANUSA LINTASARTA Setiyo Budiyanto	156



Jurnal
Teknologi
Elektro

Volume
3

Nomor
3

September
2012

Halaman
116- 167

ISSN
2086-9479



JURNAL TEKNOLOGI ELEKTRO

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik - Universitas Mercu Buana

Volume 3 - Nomor 2 Mei 2012

ISSN: 2086-9479

Daftar Isi	i
Kata Pengantar	ii
Susunan Redaksi	iii
ANALISA IMPLEMENTASI DAN RANCANGAN TRANSMISI MICROWAVE RADIO LINK DIGITAL Mudrik alaydrus	116
ANALISA PENGARUH KERJA TURBIN UAP DAN BEBAN JARINGAN TERHADAP KELUARAN GENERATOR SINKRON DI PLTU UNIT 4 TANJUNG PRIOK Mustari Lamma	121
KOORDINASI PROTEKSI RELAI ARUS LEBIH PADA JARINGAN SPINDEL TEGANGAN MENENGAH 20 kV Badaruddin	125
ANALISA JARINGAN OPTIK PERUSAHAAN GAS NEGARA BERBASIS TEKNOLOGI SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY (SDH) Said Attammimi	136
SISTEM PENANGANAN BANJIR BERBASIS PLC Yudhi Gunardi	143
ANALISA SISTEM PENGUKURAN KARAKTERISTIK LCD PANEL UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA LCD TV Andi Adriansyah	149
IMPLEMENTASI SERVER ASTERISK UNTUK MENDUKUNG TEKNOLOGI NEXT GENERATION NETWORK DI PT. APLIKANUSA LINTASARTA Setiyo Budiyanto	156

KOORDINASI PROTEKSI RELAI ARUS LEBIH PADA JARINGAN SPINDEL TEGANGAN MENENGAH 20 KV

Badaruddin

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
JL. Raya Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta, 11650
Telepon: 021-5857722 (hunting), 5840816 ext. 2600 Fax: 021-5857733

ABSTRAK - Dalam sistem tenaga listrik yang terus berkembang, masalah Koordinasi sistem proteksi terhadap arus gangguan meliputi pemilihan jenis dan setting relai yang sesuai, sehingga tujuan sistem proteksi dapat terpenuhi dengan baik, pada jaringan primer spindel 20 KV, pemakaian relai arus lebih dapat memenuhi persyaratan-persyaratan yang dibutuhkan, baik hal itu di tinjau dari segi teknis maupun segi ekonomis.

Pemilihan jenis karakteristik, Penentuan setting arus dan Penentuan setting waktu. Dimana Penentuan setting arus ditentukan oleh besar arus gangguan hubung singkat (maksimum dan minimum), arus beban maksimum (sebagai batas bawah relai gangguan fasa) dan arus kapasitif (sebagai batas bawah relai gangguan tanah). Penentuan setting waktu ditentukan oleh koordinasi dengan relai yang berada di hilir dan sisi hulunya dan juga oleh batas waktu lama arus gangguan terhadap keamanan peralatan atau sistem yang diproteksi, dengan memperhitungkan faktor-faktor tersebut diatas dan persyaratan koordinasi yang diperlukan, maka koordinasi relai arus lebih dapat dilakukan dengan baik.

Kata Kunci : system proteksi, jaringan primer spindle

PENDAHULUAN

Daya listrik yang disalurkan melalui sistem distribusi tenaga listrik ke pemakai harus mempunyai mutu dan keandalan yang tinggi. Masalah koordinasi sistem proteksi menjadi penting karena bertujuan untuk pengamanan terhadap bahaya gangguan atau kerusakan pada peralatan listrik yang mungkin terjadi dan juga kontinuitas pelayanan terhadap pemakai, Khususnya pada saluran distribusi, gangguan yang mungkin terjadi sebagian

besar adalah gangguan hubung singkat, baik hubung singkat tiga fasa, antar fasa, atau hubung singkat fasa ketanah. Kegagalan pada sistem tenaga listrik tidak mungkin dapat dihindari, oleh karena itu untuk mengurangi kerusakan dan memperkecil daerah gangguan maka dibutuhkan sistem proteksi.

Jaringan spindel dalam keadaan normal beroperasi secara radial dan dalam keadaan darurat baru beroperasi secara loop melalui saluran cadangan dan gardu hubung, tetapi karena relai proteksi hanya terdapat pada pangkal saluran (di dalam gardu induk jaringan primer spindel) maka masalah pemakaian relai proteksi sama dengan sistem radial untuk memudahkan pengertian maka pembahasan dasar teori di buat dalam sistem radial, kemudian baru diterapkan pada jaringan spindel yang akan di bahas.

KOORDINASI PROTEKSI RELAI ARUS LEBIH PADA JARINGAN SPINDEL TEGANGAN MENENGAH 20 KV

Koordinasi Relai Pada Incoming Trafo dengan Penyulang 20 kV

Prinsip dasar dalam koordinasi ialah memberi kesempatan kepada pengaman pada sisi penyulang yang berada didepan terdekat dari titik gangguan untuk bekerja sepenuhnya (memutus dengan sempurna) terlebih dahulu, sebelum pengaman sebelah hulu (Incoming trafo / sisi sumber, yang terproteksi) koordinasi relai adalah kerjasama relai yang berdasarkan urutan waktu kerja, operasi kerja yang diatur dan disesuaikan dengan alat proteksi atau relai lainnya, agar gangguan yang terjadi pada saluran dapat dihilangkan

Koordinasi Proteksi Relai Arus Lebih

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik umumnya adalah gangguan hubung singkat. Akibat dari hubung singkat adalah mengalirnya arus yang pada umumnya jauh melebihi arus normal dari peralatan sistem tenaga listrik, sehingga dapat merusak peralatan tersebut. Relai arus lebih adalah relai yang bekerja berdasarkan arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.

Karakteristik Relai Arus Lebih

Macam karakteristik relai arus lebih secara garis besar dapat dibagi dalam:

Tipe Seketika (*Instantaneous Type*)

Relai ini akan memberikan perintah kepada PMT untuk trip pada saat terjadi gangguan bila besarnya arus gangguan melebihi penyetelannya dan jangka waktu kerjanya. Relai akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10-20 mS), biasanya nilai seting arusnya disetel sebesar $4-6 \times I_n$

Tipe Dengan Waktu Tunda Tertentu (*Definite Time*)

Relai ini akan memberi perintah kepada PMT saat terjadi gangguan, bila arus gangguan melampaui penyetelannya dan relai akan bekerja dengan waktu tunda. Relai ini akan memberikan perintah kepada PMT saat terjadi gangguan bila arus gangguan melebihi settingnya, atau relai akan bekerja dengan waktu tunda yang tidak tergantung dari besarnya arus asalkan melebihi nilai settingnya. Jadi penyetelan dilakukan pada relai ini adalah penyetelan arus dan penyetelan waktu tunda, misalnya $I_{set} = 1.5 I_n$ dan $t = 0.5$ detik. Relai ini dipakai untuk saluran dengan kondisi besar arus gangguan antara pangkal dan ujung seksi tidak jauh berbeda. Keadaan tersebut didapatkan bila impedansi sumber lebih besar dibandingkan impedansi saluran.

Inverse Time Relay

Relai ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus maka makin kecil waktu tundanya. Apabila impedansi sumber lebih kecil dibandingkan

dengan impedansi beban, maka perbedaan besaran arus gangguan yang terjadi untuk gangguan dilokasi ujung akhir seksi saluran yang diproteksi dengan arus gangguan yang terjadi dekat sumber adalah cukup besar. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$I_f = \frac{E}{Z_s + Z_L}$$

Dimana

Z_s = impedansi sumber

Z_L = impedansi saluran yang diproteksi

Dari persamaan arus gangguan diatas bila $Z_s \ll Z_L$, maka I_f besarnya ditentukan oleh Z_L , sedangkan Z_L sendiri tergantung pada lokasi gangguan makin jauh dari sumber Z_L makin besar, sehingga perbedaan arus

gangguan diujung saluran $\left(I_f = \frac{E}{Z_s + Z_L} \right)$

dan dekat sumber $\left(I_f = \frac{E}{Z_s} \right)$ cukup besar.

Karakteristik *inverse time* ini bermacam-macam, setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda.

Secara umum karakteristik invers antara lain

- ❖ *Longtime inverse*
- ❖ *Standard Inverse*
- ❖ *Very Inverse*
- ❖ *Extremely Inverse*

Kurva karakteristik untuk *inverse* dapat ditunjukkan oleh persamaan berikut ini :

$$t_T = \frac{tms \times A}{(MPU)^B - 1}$$

Dimana :

t_T = Waktu untuk pemutusan (*Time To Trip*)

tms = *Time Multiple Setting / Setting Kelipatan Waktu (Time Dial)*

MPU = *Multiples Of Pickup* Skala Kelipatan

$$\text{Arus} \rightarrow \frac{I_F}{I_{SET}}$$

A, B = Konstanta khusus untuk kurva

Jenis Pengaman Arus Lebih

Ada 3 jenis pengaman arus lebih:

1. Pengaman beban lebih

Beban yang berlebihan dapat menyebabkan panas yang berlebihan pada. Dari jenis isolasi, suhu yang melebihi batas suhu kerja dari peralatan isolasi tersebut dapat merusak isolasi atau setidaknya proses penuaan berlangsung lebih cepat, umurnya lebih pendek.

Relai arus lebih sebagai pengaman beban lebih yang banyak dipakai prinsip kerjanya berdasarkan perubahan bentuk dari bimetal akibat perubahan suhu.

2. Pengaman hubung singkat

Disini relai dialiri oleh arus fasa, karena dialiri arus fasa maka nilai setingnya (I_{set}) harus lebih besar dari arus beban maksimum supaya relai tidak trip terhadap beban maksimum.

3. Pengaman gangguan 1-fasa ke tanah

Arus gangguan 1fasa ke tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban disebabkan oleh salah satu atau kedua hal berikut :

Gangguan tanah itu melalui tahanan gangguan yang cukup tinggi.

Pentanahan netral sistemnya melalui impedansi yang tinggi atau bahkan tidak ditanahkan.

Supaya relai sensitive terhadap gangguan satu fasa ke tanah, harga seting arusnya harus diperkecil. Supaya relai tidak salah kerja karena arus beban, maka relai tidak dipasang di kawat fasa melainkan di kawat netral dari rangkaian sekunder trafo arusnya. Dilihat dari teori komponen simetris, arus netral ini merupakan jumlah dari arus ketiga fasanya :

$$I_R + I_S + I_T = 3I_O$$

Jadi arus urutan nol (di rangkain primer) baru dapat mengalir jika terjadi gangguan tanah.

Impedansi Jaringan

Impedansi jaringan atau impedansi sistem diperlukan untuk menghitung besar arus gangguan.

Impedansi jaringan yang dihitung adalah terdiri dari impedansi sumber, impedansi trafo, impedansi saluran dan impedansi ekuivalen jaringan.

Impedansi Sumber

Besarnya impedansi sumber pada sistem distribusi adalah nilai Impedansi pada sisi 150 kV (tegangan Primer) dan untuk menghitung impedansi sumber maka daya hubung singkat harus diketahui terlebih dahulu.

Daya hubung singkat didefinisikan sebagai berikut:

$$S_{hs} = \sqrt{3} \times V_b \times I_{hs}$$

Arus hubung singkat:

$$I_{hs} = \frac{S_{hs}}{\sqrt{3} \times V_b \times 10^6}$$

Jika impedansi sumber difungsikan sebagai:

$$Z_s = \frac{V_b}{\sqrt{3} \times I_{hs}}$$

$$Z_s = \frac{V_b^2}{S_{hs}} = \frac{kV^2}{MVA_{hs}}$$

Dimana:

Z_s = Impedansi sumber (ohm)

V_b = Tegangan Basis (kV)

S_{hs} = Daya hubung singkat (MVA)

Impedansi Trafo

Impedansi transformator terdapat pada papan nama. Karena dalam perhitungan

hubung singkat, transformator direpresentasikan (*element pasif*), maka impedansi urutan positif dan negatif sama. Besarnya impedansi transformator dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \diamond Z_{trafo} &= \frac{KV^2}{MVA_{trafo}} \\ \diamond Z_{t1} &= Z_{t2} = X_t \cdot Z_{Base} \end{aligned}$$

Dimana:

X_t = Reaktansi Trafo %

MVA_{trafo} = Daya Transformator (MVA)

Z_{t1} = Impedansi urutan positif Trafo (Ohm)

Z_{t2} = Impedansi urutan Negatif Trafo (Ohm)

Impedansi penyulang

Impedansi yang akan dihitung tergantung besarnya impedansi per-km dari saluran yang bersangkutan, dimana besarnya diketahui dari bahan dan luas penampangnya yang digunakan.

Impedansi Ekvivalen Jaringan

Untuk perhitungan impedansi ekvivalen di sini adalah perhitungan besarnya nilai Impedansi Ekvivalen Urutan Positif (Z_{1eq}), Impedansi Ekvivalen Urutan Negatif (Z_{2eq}) dan Impedansi Ekvivalen Urutan Nol (Z_{0eq}) dari titik gangguan sampai ke sumber.

Untuk impedansi ekvivalen urutan positif (Z_{1eq}), impedansi ekvivalen urutan negatif (Z_{2eq}) dan Impedansi ekvivalen urutan nol (Z_{0eq}) yaitu

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_1 \text{ penyulang}$$

Perhitungan Arus Hubung Singkat

Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Suatu sistem yang seimbang, tetap simetris setelah terjadi gangguan tiga fasa mempunyai impedansi sama di antara setiap salurannya dan titik yang sama. Hanya arus urutan-positif saja yang mengalir. Dengan impedansi gangguan Z_f yang sama di semua fasa, Tegangan pada gangguan adalah

$$V_a = I_a Z_f$$

Dan karena hanya arus-arus urutan-positif yang mengalir,

$$V_{a1} = I_{a1} Z_f = V_f - I_{a1} Z_1$$

dan

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f}$$

Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan terjadi ketika dua penghantar terhubung singkat yang melalui impedansi adalah

$$I_a = 0 \quad I_b = -I_c \quad V_c = V_b - I_b Z_f$$

I_a , I_b , dan I_c mempunyai hubungan yang sama satu terhadap yang lainnya seperti pada gangguan hubung singkat dua fasa tanpa melibatkan impedansi. Oleh karena itu,

$$I_{a1} = -I_{a2}$$

Komponen-komponen urutan tegangan diberikan oleh:

$$3V_{a1} = V_a + (a + a^2) \cdot V_b - a^2 I_b Z_f$$

$$3V_{a2} = V_a + (a + a^2) \cdot V_b - a I_b Z_f$$

Maka:

$$3(V_{a1} - V_{a2}) = (a + a^2) I_b Z_f = j\sqrt{3} I_b Z_f$$

Karena $I_{a1} = -I_{a2}$

$$I_b = a^2 I_{a1} + I_{a2} = (a^2 + a) I_{a1} = -j\sqrt{3} I_{a1}$$

$$V_{a1} - V_{a2} = I_{a1} + Z_f$$

$$I_{a1} = \frac{\sqrt{3} \times V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$

Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Diagram Rangkaian untuk Gangguan hubung singkat Satu Fasa Ke Tanah melalui impedansi dengan netral ditanahkan seperti Dimana fasa a tempat terjadi gangguan.

$$I_b = 0 \quad I_c = 0 \quad V_a = 0$$

untuk Gangguan hubung singkat Satu Fasa Ke Tanah melalui Z_f , diperoleh:

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

$$V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = -I_{a1}Z_0 + V_f - I_{a1}Z_1 - I_{a1}Z_2$$

Karena $V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} = 0$, dengan nilai impedansi gangguan $3 Z_f$, Diperoleh:

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

Sehingga:

$$I_A = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} = 3I_{a1} = \frac{3 \cdot V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

Dimana:

V_f = tegangan fasa ke netral

Z_1 = impedansi urutan positif

Z_2 = impedansi urutan negatif

Z_0 = impedansi urutan nol

Z_f = impedansi gangguan

Arus kapasitif

Apabila terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ketanah pada salah satu penyulang SKTM (penyulang 1) diantara enam penyulang, maka penyulang SKTM lainnya (penyulang 2,3,4,5,6 yang terhubung dengan penyulang terganggu) yang sehat akan menyumbang arus kapasitif ke penyulang terganggu melalui titik gangguan. Besar arus kapasitif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$I_{ce} = (3 \times \omega \times C_e \times E_{ph-n}) \times L \quad \rightarrow \quad \omega = 2 \times \pi \times f$$

Dimana:

E_{ph-n} = tegangan fasa ke netral (Volt)

I_{ce} = Arus kapasitif (Amper)

C_e = Kapasitansi ($\mu F/Km$)

f = Frekuensi (Hz)

L = Panjang saluran

Setting Arus Kerja dan Waktu Kerja Relai Arus Lebih

Setting Arus Kerja

Fungsi relai ini disamping sebagai pengaman utama di seksi yang diamankan juga berfungsi sebagai pengaman cadangan seksi berikutnya.

Penyetelan relai arus lebih tipe inverse adalah :

$$I_{Set} = \text{nilai tap arus relai} \times I_{CT}$$

Dimana :

I_{Set} = Arus kerja relai

I_{CT} = Arus pengenal sekunder dari Trafo arus

Nilai I_f yang mengalir ke relai tergantung dari rasio perbandingan trafo arusnya, sesuai dengan rumus :

$$I_{F \text{ Relai}} = I_f \times \frac{\text{nilai sekunder CT}}{\text{nilai primer CT}}$$

Setting Waktu Relai

Setting waktu relai dipilih karakteristik *standard inverse* dengan rumus :

$$t_d = \frac{0,14 \times t_{ms}}{\left\{ \left(\frac{I_f}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}}$$

$$t_{ms} = \frac{t \times \left\{ \left(\frac{I_f}{I_{Set}} \right)^{0,02} - 1 \right\}}{0,14}$$

Dimana:

I_f = Arus gangguan

I_{Set} = Arus Setting

t = Waktu kerja

tms = Time multiple setting

Penyetelan Relai Arus Lebih Waktu Seketika

Berdasarkan studi hubung singkat, maka semakin dekat dengan sumber semakin besar pula arus gangguan yang terjadi. Sedangkan berdasarkan penyetelan relai arus lebih didapatkan bahwa untuk pengaman seksi semakin dekat dengan sumber waktunya makin lama.

$$I_m = K_s \times I_{hs}$$

Dimana :

I_m : Penyetelan arus lebih seketika

I_{hs} : Arus hubung singkat maksimum 3 fasa

K_s : Faktor keamanan biasanya diambil 1,05

KOORDINASI PROTEKSI RELAI ARUS LEBIH PADA INCOMING TRAF0 20 kV DENGAN PENYULANG TAXI DI G.I. DUKUH ATAS JAKARTA

Instalasi yang Ditinjau

Berdasarkan data yang didapat dari PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang Area Pengatur Distribusi (APD), daerah yang akan dianalisa adalah jaringan spindel SKTM di Gardu Induk (GI) DUKUH ATAS yang memiliki kapasitas Trafo tenaga 150/20 kV 60 MVA.

Penggunaan Relai Arus Lebih yang Terpasang Data Relay Arus Lebih pada Penyulang 20 kV

Data relai arus lebih

Merk : Microelettrica Scientifica

Type : MC 30

Data CT (Current Transformer) Proteksi

Trafo : 400/5

Kelas : 0.5 5P20

Data Relay Arus Lebih pada Incoming Trafo 20 kV

Data relai arus lebih

Merk : Microelettrica Scientifica

Type : MC 20

Data CT (Current Transformer)

Proteksi Trafo : 2000/5

Kelas : 0.5 5P10

Kinerja Proteksi dengan Relai Arus Lebih di Gardu Induk

I setting : 3.75

TMS : 0.05

Kurva : A Inverse

Moment Over Current: 8 x In

Analisa Koordinasi Relai arus lebih Pada Incoming Trafo Dengan Penyulang 20 kV
Pola koordinasi setting OCR Penyulang dengan Trafo Distribusi mengacu pada :

- Standar Nasional Indonesia SNI 225-1987, *Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia 1987 (PUIL 1987);Pasal 530;Sub pasal 530 A.8.*
- Surat Direktur Transmisi dan Distribusi No 0135/102/DTTND/2004

Analisa Perhitungan Koordinasi Relai arus lebih Pada Incoming Trafo Dengan Penyulang Taxi 20 kV

Sebelum melakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat, penyetelan dan pemeriksaan waktu kerja relay maka terlebih dahulu dihitung impedansi sumber, impedansi trafo, dan impedansi ekuivalen jaringan dan impedansi saluran

Menghitung Impedansi Sumber

Berdasarkan pada gambar besarnya hubung singkat (I_{hs}) di bus 150 kv Gardu Induk (GI) dukuh atas adalah sebesar 25,6654 kA:

$$\begin{aligned} S_{hs} &= V \times I_{hs} \times \sqrt{3} \\ &= 150 \text{ kV} \times 25,6654 \text{ kA} \times \sqrt{3} \\ &= 6668,07 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan persamaan maka impedansi sumber gangguan hubung singkat di sisi 20 kV .

Dimana $Z_s = X_s$, maka :

$$X_s = \frac{KV^2}{MVA} = \frac{20^2}{6668,07} = j 0,06 \Omega$$

Menghitung Reaktansi Trafo

Berdasarkan pada gambar maka besarnya reaktansi trafo dapat dihitung dengan persamaan seperti dibawah ini:

$$Z_{1r} = Z_{2r} = X_{r0} \cdot \frac{KV^2}{S} = \frac{12,57}{100} \cdot \frac{(20kV)^2}{60MVA} = 0,838 \Omega$$

$$X_{r0} = 10 \times X_{T1}$$

$$= 10 \times 0,838 = j 8,38 \Omega$$

$$Z_{0r} = (3 \times Rn) + jX_{r0} = (3 \times 12 \Omega) + j 8,38 \Omega$$

$$= (36 + j 8,38) \Omega$$

Dimana ; Z_s = Impedansi Sumber

Z_{1r} = Impedansi Trafo

Z_{0s} = Impedansi Sumber urutan nol

Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Besarnya Impedansi penyulang yang akan dihitung berdasarkan hasil dari persamaan dan dapat di asumsikan menggunakan persamaan tergantung dari besarnya impedansi per-km dari penyulang yang bersangkutan:

$$Z_{1eq} \text{ dan } Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1$$

penyulang1 + Z1 Seri

$$= j0,06 + j0,838 + ((0,1 + j0,094) \times L) + ((0,125 + j0,097) \times L)$$

$$= j0,898 + ((0,1 + j0,094) \times 0) + ((0,125 + j0,097) \times 0)$$

$$= j0,898$$

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3RN + Z_0 \text{ penyulang} + Z_0 \text{ Seri}$$

$$= j 8,38 + 36 + ((0,250 + j0,282) \times L) + ((0,025 + j0,282) \times L)$$

$$= j 8,38 + 36 + ((0,250 + j0,282) \times 0) + ((0,025 + j0,282) \times 0)$$

$$= j 8,38 + 36$$

$$Z_f = 0$$

Dengan menggunakan dan cara perhitungan yang sama seperti pada sebelumnya maka besarnya impedansi ekuivalen.

Menghitung Arus Gangguan Pada Penyulang Taksi

Untuk melakukan koordinasi Relai Arus Lebih yang terjadi pada penyulang yaitu:

❖

$$I_{hs3ph} = \frac{V_{f-n}}{Z_{1eq}} = \frac{20.000}{Z_{1eq}} = \frac{20.000}{\sqrt{R_{1eq}^2 + jX_{1eq}^2}}$$

$$= \frac{20.000}{\sqrt{3}} = \frac{20.000}{\sqrt{0,8980^2 + 0^2}} = 12858,8$$

$$L = 0$$

$$❖ I_{hs2ph} = \frac{\sqrt{3} \times V_{f-n}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} = \frac{\sqrt{3} \times V_f}{2 \times Z_{2eq}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{hs3ph}$$

∴ di mana : $Z_{1eq} = Z_{2eq}$

$$= 12858,8 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 11136,0$$

$$L = 0$$

$$❖ I_{hs1ph} = \frac{3 \times V_f}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{3 \times 20.000}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} = \frac{34641,01615}{\sqrt{R_{1eq}^2 + jX_{1eq}^2} + \sqrt{R_{2eq}^2 + jX_{2eq}^2} + \sqrt{R_{0eq}^2 + jX_{0eq}^2}}$$

$$= \frac{34641,01615}{((\sqrt{2 \times 0 \times 36})^2 + (\sqrt{2 \times 0,898 \times 8,38})^2)}$$

$$= 926,0$$

$$L = 0$$

Dengan menggunakan dan cara perhitungan yang sama seperti pada sebelumnya maka besarnya impedansi ekuivalen .

Nilai Arus kapasitif

Apabila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ketanah pada salah satu penyulang pada jaringan spindel SKTM yang terhubung dalam satu sumber (satu busbar), maka penyulang pada jaringan spindel SKTM lainnya yang tidak terganggu akan menyumbang arus kapasitif ke penyulang yang terganggu melalui titik gangguan

Besarnya nilai arus kapasitif seperti di bawah ini :

$$I_{ce} = (3 \times \omega \times C_e \times E_{ph-n}) \times L \rightarrow \omega = 2 \times \pi \times f$$

Untuk penyulang taxi (A) XLPE 3 X 330 mm²

$$kapasitansi = \frac{1}{(2 \times 50 \times 0.2 \times 0.34 \times 10^6)} = 46810.28$$

$$I_{ce} = \frac{3 \times 20000}{\sqrt{3} \times 46810.28} = 0.74$$

Untuk penyulang taxi (A) XLPE 3X 240 mm²

$$kapasitansi = \frac{1}{(2 \times 50 \times 6.58 \times 0.31 \times 10^6)} = 1560.50$$

$$I_{ce} = \frac{3 \times 20000}{\sqrt{3} \times 1560.50} = 22.20$$

impedansi ekuivalen

Didapatkan $I_{ce_{tot}}$ seperti di bawah ini:

$$Total I_{ce} = I_{ce} (A) \text{ Kabel XLPE } 3 \times 300 \text{ mm}^2 + I_{ce} (B) \text{ Kabel XLPE } 3 \times 240 \text{ mm}^2$$

$$= 0.74 + 22.20$$

$$= 22.94$$

Maka :

Ice penyulang lain (Ice peny + ... + dsb)

$$10.92 + 9.63 + 10.22 + 3.97 + 14.98 + 7.67 + \dots \text{ dsb}$$

$$= 57.38$$

Setting Relai Arus Lebih (OCR) Dan Relai Gangguan Tanah (GFR) Pada Penyulang 20 KV dan Incoming Trafo 20 kV.

Setting Relai Arus Lebih (OCR pada Pada Incoming Trafo 20 kV Dengan Penyulang Taxi (SKTM)

- Nilai Setting Relai Pada Penyulang 20 kV Setting arus

Besarnya nilai setting relai pada penyulang 20 KV dan incoming untuk mencari I_{set} Primer dan I_{set}

$$I_{set} \text{ Primer} = 1,05 \times I \text{ beban} = 1.05 \times 285 = 299,25 \text{ Amp}$$

$$I_{set} \text{ Sekunder} = I_{set} \text{ OCR Primer} \times =$$

$$299,25 \times \frac{5}{400} = 3,74 \text{ Amp}$$

Setelan waktu (Tms) relai arus lebih pada penyulang dipilih karakteristik dengan standar inverse. Untuk I_{fault} diambil nilai arus gangguan tiga fasa terbesar (pada panjang penyulang L= 0 Km) yaitu $I_{fault} = 12858,8$ Ampere.

$$tms = \frac{0.3 \times \left[\left(\frac{12858,8}{299,25} \right)^{0.02} - 1 \right]}{0.14} = 0.17$$

$$t_d = \frac{0.14 \times tms}{\left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0.02} - 1 \right]} = \frac{0.14 \times 0.17}{\left[\left(\frac{12858,8}{299,25} \right)^{0.02} - 1 \right]} = 0,3 \text{ detik}$$

Nilai Setting Relai Pada incoming Trafo Tenaga 20 kV

$$I_{nom} = \frac{MVA}{kV \times \sqrt{3}} = \frac{60000}{20 \times \sqrt{3}} = 1732.05 \text{ ampere}$$

$$\begin{aligned} I_{set}(primer) &= 1,05 \times I_{beban} \\ &= 1,05 \times 1732,05 \\ &= 1818,6525 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set}(sekunder) &= I_{set}(primer) \times \frac{1}{\text{ratio CT}} \\ &= 1818,6525 \times \frac{5}{2000} = 4,55 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

- Untuk waktu relai arus lebih (OCR) di Incoming (detik)

$$t = \frac{0,14 \times 0,23}{\left[\frac{11136,0}{4,55 \times 400} \right]^{0,02} - 1} = 0,86$$

Untuk waktu relai arus lebih (OCR)

Setting waktu (Tms) relai arus lebih pada incoming trafo dipilih karakteristik dengan standar inverse. Selisih waktu kerja (grading time) dari relai di incoming 20 kV (sisi hulu) lebih lama 0.5 detik dari waktu kerja relay di penyulang (sisi hilir). Jadi

$$t = 0,3 + 0,5 = 0,8 \text{ detik jadi}$$

$$t_{ms} = \frac{(0,3 + 0,5) \times \left[\left(\frac{12858,8}{1818,6525} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} = 0,23$$

$$t_s = \frac{0,14 \times t_{ms}}{\left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} = \frac{0,14 \times 0,23}{\left[\left(\frac{12858,8}{1818,6525} \right)^{0,02} - 1 \right]} = 0,8 \text{ detik}$$

Pemeriksaan Waktu Kerja Relai

Pemeriksaan waktu kerja relai pada penyulang 20 kV dan waktu kerja relai pada Incoming 20 kV bertujuan untuk mendapatkan selektifitas dari pada waktu kerja relai tersebut. Secara lengkap hasil hitungan waktu kerja relai untuk gangguan 3 fasa, 2 fasa, dan 1 fasa ke tanah.

$$t = \frac{0,14 \times t_{ms}}{\left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

a. Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 3 Fasa

Besarnya waktu kerja relai untuk gangguan fasa 3 di bawah ini:

$$t = \frac{0,14 \times t_{ms}}{\left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

Maka hasil dari waktu relai lebih (OCR) di incoming dan di penyulang diasumsikan

$$t = \frac{0,14 \times 0,17}{\left[\frac{11136,0}{3,74 \times \frac{400}{5}} \right]^{0,02} - 1} = 0,31$$

untuk menghitung waktu

tunda (detik) seperti di bawah ini :

$$\begin{aligned} \text{Waktu tunda} &= \text{Waktu relai arus lebih di incoming} - \text{Waktu relai arus lebih di penyulang} \\ &= 0,80 - 0,30 \\ &= 0,50 \end{aligned}$$

b. Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 2 Fasa

Besarnya waktu kerja relai untuk gangguan fasa 2 di bawah ini:

$$t = \frac{0,14 \times t_{ms}}{\left[\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

- Untuk waktu relai arus lebih (OCR) di Incoming (detik)

- Untuk waktu relai arus lebih (OCR) di penyulang

Maka hasil dari waktu relai lebih (OCR) di incoming dan di penyulang diasumsikan

untuk menghitung waktu tunda (detik) seperti di bawah ini :

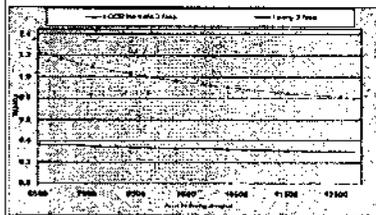
Waktu tunda = Waktu relai arus lebih di incoming - Waktu relai arus lebih di penyulang

$$= 0.86 - 0.31$$

$$= 0.55$$

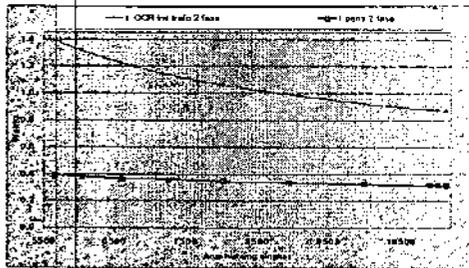
Dengan menggunakan dan cara perhitungan yang sama seperti pada sebelumnya maka waktu kerja relai fase 2 .

Kurva karakteristik koordinasi antara relai arus lebih di incoming trafo dan relai arus lebih di penyulang 20kV fhasa 3 yang terlihat pada gambar 1



Gambar 1. Kurva Koordinasi antara relai arus lebih (Hs 3 fasa) di incoming trafo dan relai arus lebih (Hs 3 fasa) di penyulang 20kV

Kurva karakteristik koordinasi antara relai arus lebih di incoming trafo dan relai arus lebih di penyulang 20kV fhasa 2



Gambar 2. Kurva Koordinasi antara relai arus lebih (Hs 2 fasa) di incoming trafo dan relai arus lebih (Hs 2 fasa) di penyulang 20kV

Untuk Gangguan 1 Fasa ke tanah
Besarnya waktu kerja relai untuk gangguan fasa 1 di bawah ini:

$$t_d = \left[\frac{0.14 \times t_{ms}}{\left(\frac{\sqrt{(I_{k\max}^2 + I_c^2) \times 10^{-10}}}{I_{set}} \right)^{0.02}} - 1 \right]$$

- Untuk waktu relai arus lebih (OCR) di Incoming (detik)

$$t_d = \left[\frac{0.14 \times 0.31}{\left(\frac{\sqrt{(96.2^2 + 58.47^2)}}{0.17 \times 400} \right)^{0.02}} - 1 \right] = 0.80$$

- Untuk waktu relai arus lebih (OCR) di penyulang

$$t_d = \left[\frac{0.14 \times 0.105467}{\left(\frac{\sqrt{(96.2^2 + 58.47^2)}}{1.05 \times \frac{400}{5}} \right)^{0.02}} - 1 \right] = 0.30$$

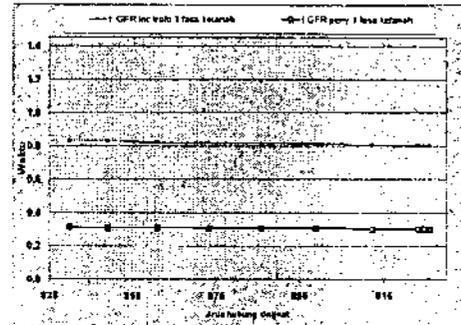
Maka hasil dari waktu relai lebih (OCR) di incoming dan di penyulang diasumsikan untuk menghitung waktu tunda (detik) seperti di bawah ini :

Waktu tunda = Waktu relai arus lebih di incoming - Waktu relai arus lebih di penyulang

$$= 0.80 - 0.30$$

$$= 0.50$$

Karakteristik koordinasi antara relai arus lebih di incoming trafo dan relai arus lebih di penyulang 20kV fhasa 3 yang terlihat pada gambar 4.5



Gambar 3. Kurva Koordinasi antara relai gangguan tanah di incoming trafo

dan relai gangguan tanah di penyulang
20kV

Edisi Empat Penerbit Erlangga,
1996

KESIMPULAN

Dari pembahasan dan penjelasan pada bab – bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. setting relai arus lebih harus memperhatikan besarnya arus hubung singkat yang terjadi pada titik gangguan yang terdekat dengan PMT yang dikendalikan oleh relai.
2. Kurva karakteristik yang dipilih harus memperhatikan koordinasi dengan relai yang ada di Incoming Trafo 20 kV dengan Penyulang 20 kV sehingga didapat koordinasi yang baik.
3. Berdasarkan perhitungan diperoleh arus hubung singkat maksimum gangguan $3\Phi = 12858,8$ A, $2\Phi = 11136$ A, $1\Phi - \text{tanah} = 926$ A pada penyulang Taxi (SKTM)
4. Diperoleh *setting* nilai TMS untuk *relai arus lebih* 0,23 detik dan TMS untuk *relai gangguan tanah* .0,31 detik pada pada incoming trafo dan pada penyulang diperoleh *setting* nilai TMS untuk *relai arus lebih* 0,17 detik dan TMS untuk *relai gangguan tanah* 0.11 detik

4. SPLN I : 1997, Pentanahan Netral Sistem Transmisi, Subtransmisi, Distribusi Dan Pengaman
5. Basri, Hasan Ir. *Sistem Distribusi Daya Listrik*, ISTN, Jakarta, 1997..

DAFTAR PUSTAKA

1. Marsudi, Djiteng Ir, *Pembangkitan Energi Listrik*, Penerbit Erlangga, 2005
2. Blackburn, J. Lewis. *Protective Relaying Principles And Applications*, Marcel Dekker Inc, New York USA, 1987
3. Stevenson Jr , William D. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*,