

Analisa Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang LM5 Di Gardu Induk Lamhotma

Yusmartato, Yusniati

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara
Jl. SM. Raja Teladan, Medan

Abstrak—Penyulang tegangan menengah adalah sarana untuk pendistribusian tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen. Tetapi dalam kenyataannya penyulang tersebut sering mengalami gangguan, diantaranya adalah gangguan hubung singkat. Oleh karena itu untuk melokalisasi gangguan tersebut diperlukan sistem proteksi yang memenuhi persyaratan sensitivitas, keandalan, selektivitas dan kecepatan, yang semuanya bergantung pada ketepatan setting peralatan proteksinya. Peralatan proteksi yang biasa digunakan untuk penyulang tegangan menengah adalah relai arus lebih (*Over Current Relay*) dan relai gangguan tanah (*Ground Fault Relay*), yaitu relai yang berfungsi mengintruksikan pemutus tenaga untuk membuka, sehingga saluran udara tegangan menengah/ saluran kabel tegangan menengah yang terganggu dipisahkan dari jaringan. Pada Skripsi ini akan dibahas tentang perbandingan antara setting relai proteksi hasil perhitungan dengan setting proteksi yang terpasang pada penyulang LM5 di Gardu Induk Lamhotma.

Kata Kunci : Penyulang, Proteksi, Relai Arus Lebih, Relai Gangguan Tanah

I. PENDAHULUAN

Jaringan saluran udara tegangan menengah bisa ditarik sepanjang puluhan sampai ratusan kilo meter termasuk percabangannya dan biasanya ada di luar kota besar. Seperti diketahui, apalagi di Indonesia, jaringan dengan konduktor telanjang yang digelar di udara bebas banyak mengandung resiko terjadi gangguan hubung singkat fasa-fasa atau satu fasa-tanah. disepanjang jaringan saluran udara tegangan menengah terdapat percabangan yang dibentuk di dalam gardu distribusi atau gardu tiang.

Jaringan saluran kabel tegangan menengah relatif lebih pendek dan berada di dalam kota besar dengan jumlah gangguan yang relatif sedikit. Bila terjadi gangguan itu biasanya pada sambungan dan akan menjadi gangguan permanen. Pada jaringan saluran kabel tegangan menengah juga terdapat gardu distribusi untuk percabangan ke beban konsumen atau percabangan saluran kabel tegangan menengah.

Khususnya di Gardu Induk Lamhotma menggunakan 2 buah transformator yang memasok beberapa penyulang, salah satunya penyulang LM5 yang di suplai dari Transformator Daya 1 (TD1). Oleh sebab itu diperlukan penyetelan relai yang baik agar relai dapat memproteksi peralatan-peralatan listrik yang lain dari arus gangguan hubung singkat maupun beban lebih.

Besarnya arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam suatu sistem kelistrikan perlu diketahui sebelum gangguan yang sesungguhnya terjadi. Hal ini biasanya dipakai dalam perencanaan peralatan instalasi tenaga, misalnya menentukan spesifikasi pemutus tenaga, konduktor yang digunakan, kapasitas thermal dari transformator arus dan lain-lain. Dari segi perusahaan, besarnya arus gangguan hubung singkat ditiap titik di dalam jaringan juga diperlukan, diantaranya untuk menghitung penyetelan relai proteksi.

Untuk keperluan penyetelan relai proteksi, arus gangguan yang dihitung tidak hanya pada titik gangguan, tapi juga kontribusinya (Arus gangguan yang mengalir ditiap cabang dalam jaringan yang menuju ke titik gangguan). Untuk itu diperlukan cara menghitung arus gangguan hubung Singkat yang dapat segera membantu dalam perhitungan penyetelan relai proteksi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (Sistem kelistrikan) antara lain :

- a. Gangguan hubung singkat tiga fasa
- b. Gangguan hubung singkat dua fasa
- c. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Semua gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :

- I = Arus (Ampere)
- V = Tegangan (Volt)
- Z = Impedansi jaringan (Ohm)

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan

B. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah analisa suatu sistem tenaga listrik pada saat dalam keadaan gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh besar nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi (*basic insulation strength*) antara sesama kawat fasa, atau antara kawat fasa dengan tanah, yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau bisa juga disebut gangguan arus lebih.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat sangat penting untuk mempelajari sistem tenaga listrik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi nantinya. Perhitungan arus hubung singkat dibutuhkan untuk :

- Setting dan koordinasi peralatan proteksi.
- Menentukan kapasitas alat pemutus daya.
- Menentukan rating hubung singkat peralatan-peralatan yang digunakan.
- Menganalisa sistem jika ada hal-hal yang tidak baik yang terjadi pada waktu sistem sedang beroperasi.

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat pada sistem seperti di atas dilakukan dengan beberapa tahap perhitungan, yaitu sebagai berikut :

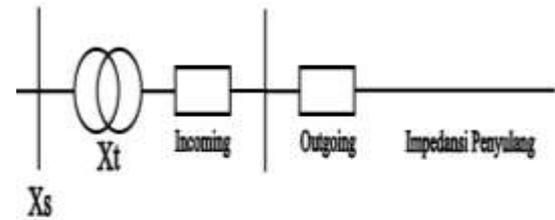
C. Menghitung Impedansi

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu :

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

Sebelum melakukan perhitungan arus gangguan hubungan singkat, maka kita harus memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Untuk itu diperlukan pengetahuan mengenai dasar impedansi urutan rel daya tegangan tinggi atau bisa juga disebut sebagai impedansi sumber, impedansi transformator, dan

impedansi penyulang.



Gambar 1. Sketsa penyulang tegangan menengah

Dimana :

- X_s = Impedansi sumber (Ohm)
- X_t = Impedansi transformator (Ohm)

D. Impedansi Sumber

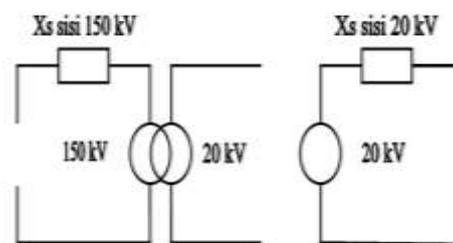
Untuk menghitung impedansi sumber di sisi bus 20 kV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber bus 150 kV. Impedansi sumber di bus 150 kV diperoleh dengan rumus :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA}$$

Dimana :

- X_s = Impedansi sumber (Ohm)
- kV^2 = Tegangan sisi primer transformator (kV)
- MVA = Daya hubung singkat di bus 150 kV

Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan dulu impedansi sumber di bus 150 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV ke sisi 20 kV, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :



Gambar 2. Konversi X_s dari 150 kV ke 20 kV

$$X_s(sisi\ 20\ kV) = \frac{20^2}{150^2} \times X_s(sisi\ 150\ kV)$$

E. Impedansi Transformator

Perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi transformator dalam ohm dihitung dengan cara sebagai berikut.

Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk transformator pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA}$$

Dimana :

X_t = Impedansi sumber (Ohm)

kV^2 = Tegangan sisi primer transformator (kV)

MVA = Daya hubung singkat di bus 150 kV

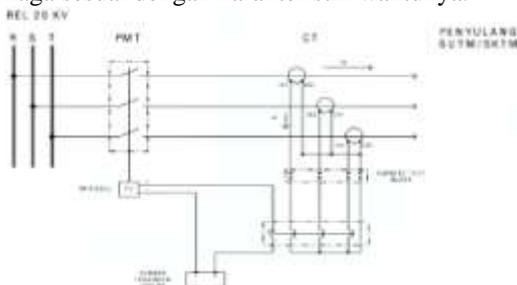
Lalu tahap selanjutnya yaitu mencari nilai reaktansi tenaganya :

- Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus :
- Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data transformator tenaga itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam transformator :
 - Untuk transformator tenaga dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$.
 - Untuk transformator tenaga dengan hubungan belitan Yyd dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$.
 - Untuk transformator tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14.

F. Pengertian Relai Arus Lebih

Relai arus lebih atau yang lebih dikenal dengan OCR (*Over Current Relay*) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau overload yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya.

Prinsip kerja relai arus lebih adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relai, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau overload (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke pemutus tenaga sesuai dengan karakteristik waktunya.



Gambar 3. Rangkaian Pengawatan Relai Arus Lebih

G. Setting Relai Arus Lebih

Arus setting arus lebih (*Over Current Relay*) Penyetelan relai arus lebih pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relai arus lebih baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah :

$$I_{set \text{ (primer)}} = 1.05 \times I_{\text{nominal transformator}}$$

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

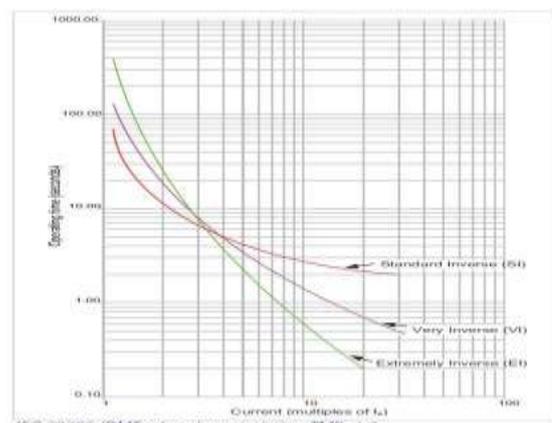
$$I_{set \text{ (sekunder)}} = I_{set \text{ (primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

H. Setting waktu

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Rumus untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desain pabrik pembuat relai. Dalam hal ini diambil rumus TMS dengan relai merk MC 30.

Tabel 1. Karakteristik Operasi Waktu Relai Inverse

Tipe Relai	Setelan Waktu (TMS)
Standar Inverse	$TMS = \frac{0,14 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^{0,02} - 1}$
Very Inverse	$TMS = \frac{13,5 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$
Extremely Inverse	$TMS = \frac{80 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^2 - 1}$
Inverse	$TMS = \frac{120 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$
Long Time Eart	$TMS = \frac{120 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$
Fault	$TMS = \frac{120 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$

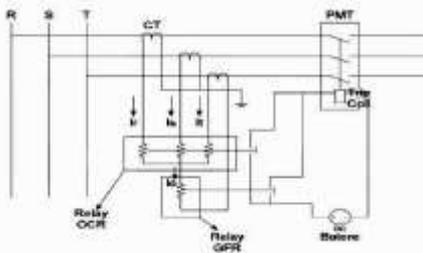


Gambar 4. Karakteristik Relai Arus Lebih

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relai arus lebih sisi incoming transformator tenaga yaitu arus hubung singkat (I_f) 2 phas di bus 20 kV, sedangkan untuk sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat (I_f) 2 fasa di sisi 150 kV.

I. Relai Gangguan Tanah

Relai gangguan tanah yang lebih dikenal dengan GFR (Ground Fault Relay) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan relai arus lebih (Over Current Relay) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila relai arus lebih mendeteksi adanya hubung singkat antara fasa, maka relai gangguan hubung tanah mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Dibawah ini merupakan gambar rangkaian pengawatan relai gangguan tanah.



Gambar 5. Pengawatan Relai Gangguan Tanah

J. Setting Relai Gangguan Tanah

Penyetelan relai arus lebih pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relai arus lebih baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah :

$$I_{set (primer)} = 0,2 \times I_{nominal \ trafo}$$

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

$$I_{set (sekunder)} = I_{set (primer)} \times \frac{1}{Ratio \ CT}$$

K. Setelan waktu (TMS)

Hasil perhitungan arus gangguan singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relai (TMS). Sama halnya dengan relai arus lebih, relai gangguan hubung tanah menggunakan rumus penyetingan TMS yang sama dengan relai arus lebih. Tetapi waktu kerja relai yang diinginkan berbeda. Relai gangguan hubung tanah cenderung lebih sensitif dari pada relai arus lebih.

Untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relai (TMS) yang akan disetkan pada relai gangguan hubung tanah sisi incoming 20 kV dan sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus

hubung singkat 1 fasa ke tanah.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Tempat untuk pengambilan data adalah di PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) Sumatera Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Medan TRAGI Paya Pasir Gardu Induk Lamhotma.

Data-Data Gardu Induk Lamhotma

Data Transformator Daya 1 (TD 1)

- Merk = UNINDO
- Daya = 60 MVA
- Tegangan = 150/20 kV
- Impedansi (Z%) = 12,50 %
- Tegangan Primer = 150 kV
- Tegangan Sekunder = 20 kV
- Ratio CT Transformator = 2000 / 5
- Arus Nominal Transformator = 1732,1
- Hubungan Belitan Transformator = YNyn0 (d5)
- Ground Resistor = 40 ohm

Data Relai Arus Lebih (*Over Current Relay*) Sisi Incoming 20 kV

- Merk = SCHNEIDER
- Tipe = P141316A6M0448J
- No. Seri = 36118929
- Karakteristik = Normal Inverse
- I. Nominal = 5 A
- Tms = 0,1
- Rasio CT = 300/5 A

Data Relai Hubung Tanah (*Ground Fault Relay*) Sisi Incoming 20 kV

- Merk = SCHNEIDER
- Tipe = P141316A6M0448J
- No. Seri = 36118929
- Karakteristik = Normal Inverse
- I. Nominal = 5 A
- Tms = 0,1
- Rasio CT = 300/5 A

Data Relai Arus Lebih (*Over Current Relay*) Sisi Penyulang 20 kV

- Merk = SCHNEIDER
- Tipe = P142316A6M0448J
- No. Seri = 36112291
- Karakteristik = Normal Inverse
- I. Nominal = 5 A
- Tms = 0,1
- Rasio CT = 400/5 A

Data Relai Hubung Tanah (*Ground Fault Relay*) Sisi Penyulang 20 kV

- Merk = SCHNEIDER
- Tipe = P142316A6M0448J
- No. Seri = 36112291

- Karakteristik = Normal Inverse
- I. Nominal = 5 A
- Tms = 0,1
- Rasio CT = 400/5 A

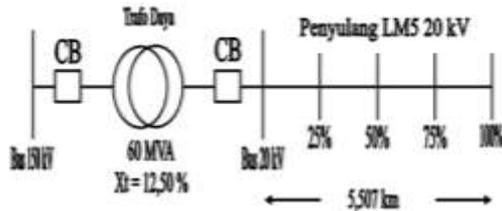
IV. PERHITUNGAN DAN ANALISA

A. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam jaringan (sistem kelistrikan) ada 3, antara lain :

- Gangguan hubung singkat 3 fasa.
- Gangguan hubung singkat 2 fasa.
- Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Perhitungan Gangguan Hubung Singkat ini dihitung besarnya berdasarkan panjang penyulang, yaitu diasumsikan terjadi di 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang (lihat Gambar 6).



Gambar 6. Penyulang LM5

B. Menghitung Impedansi Sumber

Data Hubung Singkat di bus sisi primer (150 kV) di Gardu Induk Lamhotma adalah sebesar 2,962 MVA. Maka impedansi sumber (Xs) adalah :

$$X_{S(sisi\ 150kV)} = \frac{kV(sisi\ primer\ transformator\ TD1)^2}{MVA\ hubung\ singkat\ di\ bus\ sisi\ primer} = \frac{150^2}{2,962} = 7,59\ Ohm$$

Untuk mengetahui Impedansi di sisi sekunder, yaitu di bus sisi 20 kV maka :

$$X_{S(sisi\ 20kV)} = \frac{kV(sisi\ sekunder\ transformator\ TD1)^2}{kV(sisi\ primer\ transformator\ TD1)^2} \times X_{S(sisi\ primer)} = \frac{20^2}{150^2} \times 2,962 = 0,134\ Ohm$$

C. Menghitung Reaktansi Transformator

Besarnya reaktansi transformator tenaga satu di Gardu Induk Lamhotma adalah 12,50 %, agar dapat mengetahui besarnya nilai reaktansi urutan positif, negatif dan reaktansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100 % nya. Besarnya nilai ohm pada 100 % yaitu :

$$X_{t(pada\ 100\%)} = \frac{kV(sisi\ bus)^2}{MVA\ transformator\ TD1} = \frac{20^2}{60} = 6,667\ Ohm$$

Nilai reaktansi transformator tenaga :

- ❖ Reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)

$$X_t = 12,50\ \% \cdot 6,667 = 0,833\ Ohm$$

- ❖ Reaktansi urutan nol (X_{t0})

Karena transformator daya yang mensuplai penyulang LM5 mempunyai hubungan Yyn0 yang tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s.d. 14. X_{t1} , dalam perhitungan ini diambil nilai $X_{t0} = 10 \times X_{t1}$,

$$\text{jadi } X_{t0} = 10 \cdot 0,833 = 8,33\ Ohm.$$

D. Menghitung Impedansi Penyulang

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang LM5 hanya menggunakan satu buah tipe kabel yaitu XLPE 240 mm².

Panjang penyulang = 5,507 km, dengan panjang penghantar XLPE 240 mm².

$$Z_1 = Z_2(XLPE\ 240) = (0,125 + j0,097)\Omega/km \times 5,507 = 0,688 + j0,534\ Ohm$$

$$Z_0(XLPE\ 240) = (0,275 + j0,029)\Omega/km \times 5,507 = 1,514 + j0,159\ Ohm$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan dengan jarak 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang, sebagai berikut :

- ❖ Urutan positif dan negatif

Tabel 2. Impedansi Penyulang Urutan Positif & Negatif

Panjang (%)	Impedansi penyulang (Z_1 & Z_2)
25	(0,172 + j0,133) Ohm
30	(0,344 + j0,267) Ohm
75	(0,516 + j0,400) Ohm
100	(0,688 + j0,534) Ohm

- ❖ Urutan nol

Tabel 3. Impedansi Penyulang Urutan Nol

Panjang (%)	Impedansi penyulang (Z_0)
25	(0,378 + j0,039) Ohm
30	(0,757 + j0,079) Ohm
75	(1,135 + j0,119) Ohm
100	(1,514 + j0,159) Ohm

Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Perhitungan $Z_{1\ eq}$ dan $Z_{2\ eq}$:

$$\begin{aligned} Z_{1\ eq} = Z_{2\ eq} &= Z_{1S(sisi\ 20\ kV)} + Z_{1T} \\ &\quad + Z_{1\ penyulang} \\ &= j0,134 + j0,833 + Z_{1\ penyulang} \\ &= j0,967 + Z_{1\ penyulang} \end{aligned}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang, maka Z_{1eq} (Z_{2eq}) yang didapat adalah :

Tabel 4. Impedansi Ekuivalen Z_{1eq} (Z_{2eq})

Panjang (%)	Impedansi penyulang (Z_1 & Z_2)
25	$0,172 + j1,100 \text{ Ohm}$
30	$0,344 + j1,234 \text{ Ohm}$
75	$0,516 + j1,367 \text{ Ohm}$
100	$0,688 + j1,501 \text{ Ohm}$

Perhitungan Z_{0eq} :

$$Z_{0eq} = Z_{ot} + 3R_N + Z_{0penyulang}$$

$$= j8,33 + 3 \times 40 + Z_{0penyulang}$$

$$= j8,33 + 120 + Z_{0penyulang}$$

Untuk lokasi gangguan di 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang, maka perhitungan Z_{0eq} menghasilkan :

Tabel 5. Impedansi Ekuivalen Z_{0eq}

Panjang (%)	Impedansi penyulang (Z_{0eq})
25	$120,378 + j8,369 \text{ Ohm}$
30	$120,757 + j8,409 \text{ Ohm}$
75	$121,135 + j8,449 \text{ Ohm}$
100	$121,514 + j8,489 \text{ Ohm}$

E. Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah mendapatkan impedansi ekuivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat digitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekuivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat tersebut bisa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ke tanah.

Tabel 6. Arus Gangguan Hubung Singkat 3 fasa

Panjang (%)	Arus gangguan hubung singkat 3 fasa ($I_{3 fasa}$)
25	10374,66 A
30	9014,05 A
75	7903,49 A
100	6993,94 A

❖ Gangguan Hubung Singkat 2 fasa

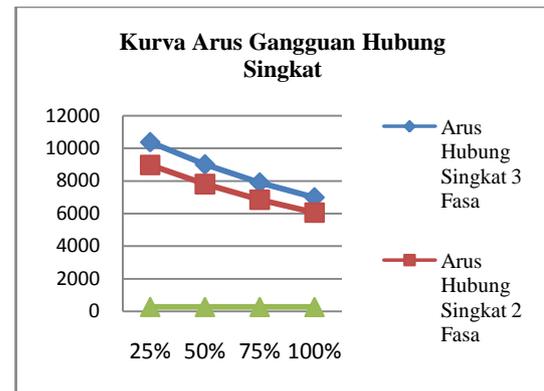
Tabel 7. Arus Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Panjang (%)	Arus gangguan hubung singkat 2 fasa (I_{2-fasa})
25	8980,69 A
30	7806,40 A
75	6844,63 A
100	6056,94 A

❖ Gangguan Hubung Singkat 1 fasa ke Tanah

Tabel 8. Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ketanah

Panjang (%)	Arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah ($I_{1 fasa}$)
25	285,86 A
30	284,10 A
75	282,37 A
100	280,67 A



Gambar 7. Kurva Arus Gangguan Hubung Singkat

F. Analisa Arus Gangguan Hubung Singkat

Dari Tabel 8 dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya dan sebaliknya. Selain itu dapat dilihat bahwa arus gangguan hubung singkat terbesar adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa, apabila ditinjau dari gangguan terhadap fasa.

G. Penyetelan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah

Diketahui pada penyulang LM5 transformator arus yang terpasang mempunyai rasio 300/5 ampere, dan arus beban maksimum pada penyulang tersebut sebesar relai arus lebih dengan karakteristik *Standard Inverse (Normaly Inverse)*.

a. Setelan Relai Arus Lebih disisi Penyulang 20 kV

Setelan Relai Arus Lebih

Untuk setelan relai yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum.

Untuk relai inverse biasa diset sebesar 1,05 sampai dengan $1,1 \times I_{maks}$, sedangkan untuk relai definite diset sebesar 1,2 sampai dengan $1,3 \times I_{maks}$. Persyaratan lain yang harus dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang tidak lebih kecil dari 0,3 detik). Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus inrush dari transformator-transformator distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat pemutus tenaga penyulang tersebut dimasukkan.

Setelan Arus

$$I_{beban} = 286,40 \text{ Ampere, Rasio CT} = 400/5 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{set (primer)} &= 1,05 \times I_{beban} \\ &= 300,7 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Nilai arus tersebut merupakan nilai setelan pada sisi primer, sedangkan nilai yang akan disetkan pada relai adalah nilai sekundernya. Oleh karena itu dihitung menggunakan nilai rasio transformator arus yang terpasang pada penyulang. Besarnya arus pada sisi sekundernya adalah :

$$\begin{aligned} I_{set (primer)} &= I_{set (primer)} \times \frac{1}{RatioCT} \text{ Ampere} \\ &= 300,7 \times \frac{5}{400} \text{ Ampere} \\ &= 3,76 \text{ Ampere dibulatkan 4 A} \end{aligned}$$

Setelan TMS (Time Multiplier Setting)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relai arus lebih sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat 3 fasa di 25 % panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan $t = 0,3$ detik. Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi akibat adanya arus inrush dari transformator-transformator distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat pemutus tenaga penyulang tersebut dimasukkan.

Jadi didapat :

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \cdot tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \\ 0,3 &= \frac{0,14 \cdot tms}{\left(\frac{10374,66}{300,7}\right)^{0,02} - 1} \\ tms &= \frac{\left(\frac{10374,66}{300,7}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,3 \\ tms &= \frac{0,02202}{0,14} = 0,157 \end{aligned}$$

b. Setelan Relai Arus Lebih di sisi Incoming 20 kV

Penentuan setelan relai arus lebih pada sisi incoming 20 kV transformator tenaga sama halnya dengan penyulang, yaitu harus diketahui terlebih dahulu nilai arus nominal transformator tenaga tersebut.

Setelan Relai Arus Lebih

Dari data yang diperoleh	
Kapasitas	= 60 MVA
Tegangan	= 150/20 kV
Impedansi (Z%)	= 12,50 %
Rasio CT	= 2000/5 A

(pada sisi incoming 20 kV)

Setelan Arus

Arus nominal transformator pada sisi 20 kV :

$$\begin{aligned} I_n (sisi 20 kV) &= \frac{kVA}{kV\sqrt{3}} \\ &= \frac{60000}{20\sqrt{3}} \\ &= 1732 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set primer} &= 1,05 \cdot I_{beban} \\ &= 1,05 \cdot 1732 \text{ Ampere} \\ &= 1818,6 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Nilai setelan pada sisi sekunder :

$$\begin{aligned} I_{set (sekunder)} &= I_{set (primer)} \cdot \frac{1}{RatioCT} \\ I_{set (sekunder)} &= 1818,6 \cdot \frac{5}{2000} \text{ Ampere} \\ &= 4,547 = 5 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Setelan TMS (Time Multiplier Setting)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relai arus lebih sisi incoming 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat 3 fasa di 25% panjang penyulang. Waktu kerja incoming didapat dengan waktu kerja relai disisi hilir + 0,4 detik.

$$t_{incoming} = (0,3 + 0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

Jadi didapat :

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14 \cdot tms}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \\ 0,7 &= \frac{0,14 \cdot tms}{\left(\frac{10374,66}{1818,6}\right)^{0,02} - 1} \\ tms &= \frac{\left(\frac{10374,66}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,7 \\ tms &= \frac{0,0248}{0,14} \\ Tms &= 0,177 \end{aligned}$$

c. Setelan Relai Gangguan Tanah di sisi Penyulang 20 kV

Setelan Arus

Untuk setelan arus di penyulang menggunakan pedoman yaitu setelan arus gangguan tanah di penyulang diset 10% x arus gangguan tanah terkecil di penyulang tersebut. Hal ini di lakukan untuk menampung tahanan busur.

$$\begin{aligned} I_{set (primer)} &= 10\% \times (\text{gangguan di } 100\% \text{ panjang penyulang}) \\ &= 0,1 \times 813 \\ &= 81,3 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{set (sekunder)} &= I_{set (primer)} \cdot \frac{1}{RatioCT} \\ &= 81,3 \times \frac{5}{400} \\ &= 1,02 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Setelan TMS (Time Multiplier Setting)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relai gangguan tanah sisi penyulang 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat satu fasa di 25% panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan $t = 0,3$ detik.

Jadi didapat :

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

$$0,3 = \frac{0,14 \cdot tms}{\left(\frac{285,86}{81,3}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{\left(\frac{285,86}{81,3}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,3$$

$$tms = \frac{0,00764}{0,14}$$

$$tms = 0,055$$

d. Setelan Relai Gangguan Tanah di sisi Incoming 20 kV

Setelan Arus

Setelan arus relai gangguan tanah di incoming 20 kV harus lebih sensitif, hal ini berfungsi sebagai cadangan bagi relai di penyulang 20 kV dibuat 8% x arus gangguan tanah terkecil.

$$I_{set} (primer) = 8\% \times (\text{gangguan di } 100\% \text{ panjang penyulang})$$

$$= 0,08 \times 813$$

$$= 65,04 \text{ Ampere}$$

$$I_{set} (sekunder) = I_{set} (primer) \cdot \frac{1}{RasioCT}$$

$$= 65,04 \times \frac{5}{2000}$$

$$= 0,16 \text{ Ampere}$$

Setelan TMS (Time Multiplier Setting)

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relai gangguan hubung tanah sisi incoming 20 kV transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat satu fasa di 25% panjang penyulang. Waktu kerja incoming didapat dengan waktu kerja relai disisi hilir +0,4 detik.

$$t_{incoming} = (0,3 + 0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

Jadi didapat :

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

$$0,7 = \frac{0,14 \cdot tms}{\left(\frac{285,86}{65,04}\right)^{0,02} - 1}$$

$$tms = \frac{\left(\frac{285,86}{65,04}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \times 0,7$$

$$tms = \frac{0,02104}{0,14}$$

$$tms = 0,150$$

H. Pemeriksaan Waktu Kerja Relai

Pemeriksaan waktu kerja relai ialah untuk mengetahui waktu kerja relai terhadap besarnya arus gangguan di tiap titik gangguan yang diasumsikan terjadi pada 25%, 50%, 75%, 100% panjang penyulang.

Waktu Kerja Relai Pada Gangguan 3 Fasa

Karena nilai arus gangguan hubung singkat yang didapat dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah dalam nilai arus primer, maka dalam pemeriksaan selektifitas nilai arus primernya juga diambil, untuk lokasi gangguan 25% adalah :

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,157}{\left(\frac{10374,66}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,299 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,177}{\left(\frac{10374,66}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$$t = 0,699 \text{ detik}$$

Untuk lokasi gangguan 50% panjang penyulang, waktu kerja relai arus lebih di penyulang dan di incoming 20 kV :

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = 0,312 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$$t = 0,762 \text{ detik}$$

Untuk lokasi gangguan 75% panjang penyulang, waktu kerja relai arus lebih di penyulang dan di incoming 20 kV :

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = 0,325 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$$t = 0,831 \text{ detik}$$

Untuk lokasi gangguan 100% panjang penyulang, waktu kerja relai arus lebih di penyulang dan di incoming 20 kV :

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = 0,338 \text{ detik}$$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$$t = 0,907 \text{ detik}$$

Waktu Kerja Relai Pada Gangguan 2 Fasa

Waktu kerja relai arus lebih pada penyulang dan incoming 20 kV transformator untuk gangguan 2 fasa yang terjadi di lokasi 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang juga dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sama.

Lokasi gangguan pada 25% panjang penyulang.

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,157}{\left(\frac{8980,69}{300,7}\right)^{0,02} - 1}$$

$t = 0,313 \text{ detik}$

Incoming 20 kV trafo tenaga

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,177}{\left(\frac{8980,69}{1818,6}\right)^{0,02} - 1}$$

$t = 0,763 \text{ detik}$

Untuk lokasi gangguan 50% panjang penyulang.

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$t = 0,327 \text{ detik}$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$t = 0,838 \text{ detik}$

Untuk lokasi gangguan 75% panjang penyulang.

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$t = 0,341 \text{ detik}$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$t = 0,923 \text{ detik}$

Untuk lokasi gangguan 100% panjang penyulang.

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$t = 0,355 \text{ detik}$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$t = 1,017 \text{ detik}$

Waktu Kerja Relai Pada Gangguan 1 Fasa Ke Tanah

Setelan relai gangguan tanah di :

Untuk lokasi gangguan 25% panjang penyulang.

Waktu kerja relai di :Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,055}{\left(\frac{285,86}{81,3}\right)^{0,02} - 1}$$

$t = 0,302 \text{ detik}$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$$t = \frac{0,14 \cdot 0,150}{\left(\frac{285,86}{65,04}\right)^{0,02} - 1}$$

$t = 0,699 \text{ detik}$

Untuk lokasi gangguan 50% panjang penyulang.

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$t = 0,304 \text{ detik}$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$t = 0,702 \text{ detik}$

Untuk lokasi gangguan 75% panjang penyulang.

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$t = 0,305 \text{ detik}$

Incoming 20 kV transformator tenaga

$t = 0,705 \text{ detik}$

Untuk lokasi gangguan 100% panjang penyulang.

Waktu kerja relai di :

Penyulang 20 kV

$t = 0,307 \text{ detik}$

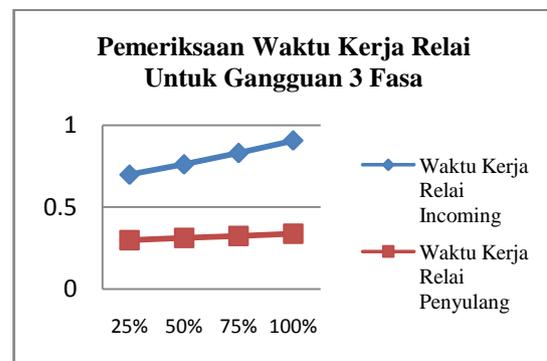
Incoming 20 kV trafo tenaga

$t = 0,708 \text{ detik}$

Untuk memudahkan dalam melihat secara keseluruhan untuk kerja relai arus lebih dan relai gangguan tanah di penyulang dan incoming 20 kV transformator tenaga serta dengan berbagai lokasi gangguan 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah, hasil pemeriksaan waktu kerja relai dibuat tabel seperti berikut ini.

Tabel 9. Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 3 Fasa

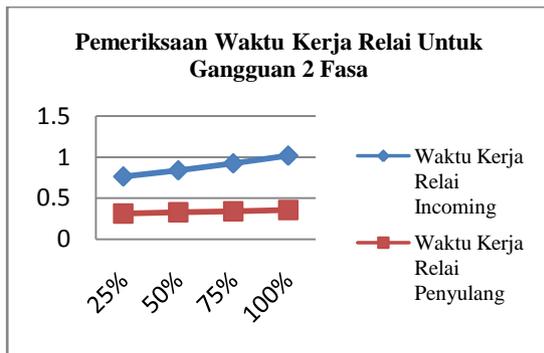
Lokasi Gangguan (% Panjang)	Waktu Kerja Relai Incoming (detik)	Waktu Kerja Relai Penyulang (detik)	Selisih Waktu (Grading Time) (detik)
25%	0,699	0,299	0,4
50%	0,762	0,312	0,45
75%	0,831	0,325	0,506
100%	0,907	0,338	0,569



Gambar 8. Kurva Pemeriksaan Waktu Kerja Relay Untuk Gangguan 3 Fasa

Tabel 10. Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 2 Fasa

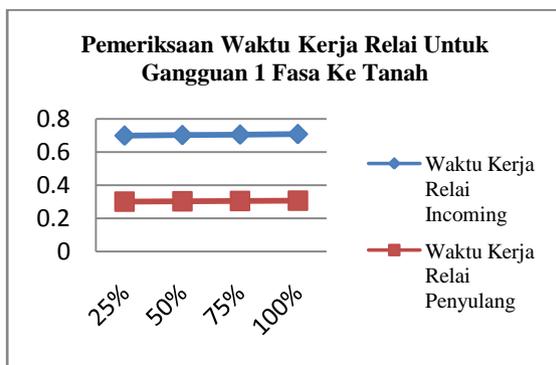
Lokasi Gangguan (% Panjang)	Waktu Kerja Relai Incoming (detik)	Waktu Kerja Relai Penyulang (detik)	Selisih Waktu (Grading Time) (detik)
25%	0,763	0,313	0,45
50%	0,838	0,327	0,511
75%	0,923	0,341	0,582
100%	1,017	0,355	0,662



Gambar 9. Kurva Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 2 Fasa

Tabel 11. Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 1 Fasa Ke Tanah

Lokasi Gangguan (% Panjang)	Waktu Kerja Relai Incoming (detik)	Waktu Kerja Relai Penyulang (detik)	Selisih Waktu (Grading Time) (detik)
25%	0,699	0,302	0,397
50%	0,702	0,304	0,398
75%	0,705	0,305	0,4
100%	0,708	0,307	0,401



Gambar 10. Kurva Pemeriksaan Waktu Kerja Relai Untuk Gangguan 1 Fasa Ke Tanah

Analisa Waktu Kerja Relai

Berdasarkan Tabel 11 dapat dianalisa bahwa hasil perhitungan dengan data yang ada dilapangan masih dalam kondisi yang sesuai (perbedaannya tidak terlalu jauh), sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan setting relai arus lebih-relai gangguan tanah yang ada dilapangan sudah baik. Karena hasil dari perhitungan tersebut untuk disetkan ke relai arus lebih-relai gangguan tanah maka harus di sesuaikan dengan tap-tap yang ada pada relai yang bersangkutan. Sehingga hasilnya tidak akan persis sama dengan hasil perhitungan.

IV. KESIMPULAN

- Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat di pengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya, begitu pula sebaliknya.
- Waktu kerja relai di penyulang lebih cepat di bandingkan dengan waktu kerja di incoming dengan selisih waktu (grading time) rata-rata sebesar 0,4. Hal ini disebabkan jarak lokasi gangguan mempengaruhi besar kecilnya selisih waktu (grading time). Semakin jauh jarak lokasi gangguan, maka semakin besar selisih waktu kerja relai di incoming.
- Dengan arus nominal (I_n) pada transformator daya 1 sebesar 1732,1 A dan arus gangguan terbesar dari hasil perhitungan sebesar 10374,66 A, maka relai harus di setting lebih cepat waktu tripnya untuk mencegah terjadinya arus lebih yang mengalir ke transformator daya agar tidak mengalami kerusakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aslimeri, dkk, Dkk., 2008, *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 3*, Penerbit Direktorat Jendral Pendidikan Dasar Dan Menengah, Departmen Pendidikan Nasional.
- [2] Hendra Marta Yudha, Ir, MSEE. 2008. Modul Perkuliahan : *Rele Proteksi Prinsip dan Aplikasi*. Fakultas Teknik UNSRI.
- [3] Sunil, S. Rao, 1982, *Switchgear And Protection*, Penerbit Khanna Publishers-Delhi.
- [4] Soptiyadi, Edi, 1999, *Sistem Pengaman Tenaga Listrik*, Penerbit Adicita Karya Nusa
- [7] William D. Stevenson, JR., 1984, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Ke Empat, Erlangga, Jakarta
- [8] Wahyudi Sarimun,N, Pribadi Kadarisman, *Koordinasi OCR dan GFR Pada Jaringan Distribusi*, Penerbit PT PLN (Persero) Jasa Pendidikan dan Pelatihan, Jakarta

