

Analisis Gangguan *Earth Fault* pada Penyulang Hujan Gardu Induk Teluk Betung

Yenni Afrida¹, Jeckson², Ancolo³, Fajar Rhomadon⁴

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Lampung, Bandar Lampung

Jl. Z.A. Pagar Alam No.14 Bandar Lampung 35142

³Teknik Elektronika Universitas Aisyah Pringsewu,

Jl. A. Yani 1A Gadingrejo, Pringsewu, Lampung 35373

¹Yenniafrida20016@gmail.com

²jecksonmuhammad@gmail.com

³masancol@gmail.com

⁴romadhoni794@gmail.com

Intisari — Hubung singkat merupakan salah satu jenis gangguan yang sering terjadi pada suatu sistem tenaga listrik, baik itu hubung singkat antara kawat fasa ketanah maupun hubung singkat antara kawat yang berbeda fasanya. Gangguan hubung singkat dapat berakibat fatal pada sistem tenaga listrik, jika tidak memperhatikan sistem pengaman. Gangguan tanah terjadi karena adanya tegangan induksi kumparan-kumparan transformator terhadap struktur logam disekitarnya. Bila dibiarkan tanpa pengaman listrik, akan menimbulkan kebakaran. Untuk itu diperlukan pengaman listrik yang tepat sesuai dengan beban atau jaringan listrik yang diamankan. Penelitian ini membahas tentang arus hubung singkat satu fasa ketanah pada titik gangguan 10% sampai dengan 100% panjang saluran. Metode yang digunakan adalah dengan menghitung impedansi sumber, impedansi transformator 150 kV, Impedansi ekuivalen, dan gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Hasil perhitungan arus gangguan menjadi salah satu faktor pertimbangan dalam menentukan nilai proteksi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa semakin jauh atau panjang kawat penampang pada panjang penyulang maka arusnya semakin berkurang/kecil atau semakin dekat maka arus gangguan semakin besar.

Kata kunci — Hubung singkat 1 fasa ketanah, Penyulang, Gardu Induk, Impedansi, Transformator.

Abstract — Short circuit is one type of disturbance that often occurs in an electrical power system, whether it is a short circuit between a ground wire or a short circuit between wires of different phases. Short circuit failure can have fatal consequences to the electric power system, if not paying attention to the safety system. Ground disturbance occurs due to the voltage induced by the transformers on the surrounding metal structures. If left without electric safety, it will cause a electrical fire. For this reason, it requires proper electrical safety according to the load or electrical network being secured. This research discusses the single phase ground short circuit current at the fault point of 10% to 100% of the channel length. The method is used to calculate the source impedance, 150 kV transformer impedance, equivalent impedance, and 1 phase short circuit to ground. The result of the calculation of the noise current is one of the factors of consideration in determining the value of protection. Based on the research results, it was found that the farther or longer the cross-sectional wire at the length of the feeder, the less current then you have or the closer the current, the greater the fault current.

Keywords — Short circuit, feeder, substation, impedance, transformer.

I. PENDAHULUAN

Salah satu gangguan yang paling banyak menyebabkan terjadinya pemadaman tidak terencana pada penyulang adalah gangguan akibat pohon. Gangguan hubung singkat terjadi akibat faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan

adalah komponen, peralatan, trafo dan tiang. Sedangkan faktor eksternal adalah pohon, bencana, binatang, dan layang-layang. Selain faktor internal dan faktor eksternal gangguan terdiri dari gangguan temporer dan permanen.

Gangguan temporer biasanya diamankan dengan *Circuit Breaker* (CB), atau pengaman lainnya. Adapun gangguan permanen adalah

gangguan yang menyebabkan kerusakan permanen pada sistem seperti kegagalan isolator, kerusakan penghantar dan kerusakan pada peralatan. Gangguan permanen sering terjadi pada saluran bawah tanah.

Hubung singkat merupakan salah satu jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, baik itu hubung singkat antara kawat fasa ke tanah maupun hubung singkat antara kawat yang berbeda fasanya [1]. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan aliran arus menjadi besar. Peningkatan besar arus listrik yang mengalir dapat merusak peralatan listrik jika tidak dilengkapi dengan sistem proteksi yang tepat. Besar kecil arus hubung singkat dipengaruhi oleh letak terjadinya gangguan, jika gangguan semakin dekat dengan sumber, maka arus gangguan akan semakin besar begitu sebaliknya. Perluasan sistem tenaga listrik perlu dianalisa kembali untuk mengetahui rating peralatan tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dapat terjadi antar fasa (3 fasa atau 2 fasa), dua fasa ke tanah dan satu fasa ke tanah yang sifatnya bisa temporer atau permanen [2].

Cara mengatasi gangguan hubung singkat ialah dengan melakukan analisis gangguan hubung singkat untuk mengetahui besar arus hubung singkat yang akan terjadi. Sehingga sistem proteksi yang tepat pada sistem tenaga listrik dapat ditentukan.

Analisis gangguan hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik. Analisis hubung singkat merupakan suatu hal yang penting guna untuk melindungi perangkat dan peralatan sistem distribusi dari efek yang ditimbulkan beban. Hal ini dapat diketahui dengan menggunakan metode analisis hubung singkat seimbang dan tidak seimbang.

Gangguan tanah dapat berakibat fatal pada sistem tenaga listrik, jika tidak memperhatikan sistem pengamannya. Gangguan tanah terjadi karena adanya tegangan induksi kumparan-kumparan transformator terhadap struktur logam disekitarnya. Tujuan penelitian ini untuk

mengetahui besarnya nilai gangguan *earth fault* pada penyulang Hujan GI Teluk Betung sehingga akan didapat nilai proteksi yang akan digunakan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung merupakan suatu peristiwa yang tidak normal dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi 2 yaitu gangguan hubung singkat simetri, dan gangguan hubung singkat tak simetri.

1) Gangguan Hubung Singkat Simetri

Gangguan hubung singkat simetri merupakan gangguan yang terjadi pada gangguan hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat simetri jarang sekali terjadi pada sistem kelistrikan, hal ini karena konstruksi penghantar yang terpasang.



Gbr.1 Gangguan hubung singkat simetris

Gangguan tidak simetri terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Gangguan-gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem. Sehingga untuk analisa gangguan digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan [3].



Gbr. 2 Gangguan hubung singkat simetris [3]

B. Fungsi sistem proteksi

Fungsi sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian jaringan lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian jaringan yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar [4].

Peralatan proteksi dipasang untuk menjalankan fungsi dan tujuan untuk keamanan pelayanan distribusi tenaga listrik kepada pelanggan. Ada beberapa penjelasan mengenai tujuan dari pemasangan peralatan proteksi distribusi yaitu:

1. Melindungi sistem terhadap kondisi beban lebih (*overload*) dan hubung singkat (*short circuit*).
2. Melindungi sistem terhadap gangguan fisik dari luar terutama untuk saluran udara (*overhead line*). Misalnya karena sambaran petir, sambaran induksi awan bermuatan listrik dan lain sebagainya.
3. Mengisolir bagian sistem yang terkena gangguan.
4. Melindungi *public/personal* terhadap adanya jaringan tegangan tinggi, terutama pada tempat-tempat yang padat.
5. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
6. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
7. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen.
8. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.
9. Menjaga kestabilan sistem tenaga.

C. Perhitungan Impedansi

1) Perhitungan Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber maka data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer trafo. Dengan mengetahui data hubung singkat pada bus primer trafo, maka kapasitas gangguan hubung singkat dapat dihitung menggunakan (persamaan 1) [2].

$$MVA_{sc} = \sqrt{3}xVxI_{sc} \quad (1)$$

Kemudian untuk mengetahui impedansi sumber pada bus sekunder trafo adalah :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \quad (2)$$

Dimana:

V : Tegangan sisi primer (kV)

I_{sc} : Data hubung singkat pada bus primer trafo

MVA_{sc} : Kapasitas hubung singkat (MVA)

X_s : Impedansi Sumber pada sisi sekunder (Ohm)

2) Perhitungan Reaktansi Trafo

Untuk mendapatkan nilai reaktansi trafotenaga dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X_t(\text{Ohm}) = \frac{kV^2}{MVA(\text{Trafo})} \quad (3)$$

Dimana:

kV : Tegangan pada bus sekunder trafo (kV)

MVA : Kapasitas Trafo (MVA)

X_t : Nilai reaktansi trafo dalam kondisi 100% (Ohm)

Hasil perhitungan pada persamaan perhitungan Reaktansi Trafo merupakan pada kondisi 100%. Reaktansi urutan positif tercantum pada papan nama (name plate) pada Trafo, besarnya tergantung dari kapasitas trafo tenaga sendiri dalam satuan persen (%). Sehingga untuk mendapatkan nilai reaktansi urutan positif dapat menggunakan persamaan:

$$X_{t1} = X(\%) \times X_t(\text{ohm}) \quad (4)$$

Dimana:

X : Impedansi urutan positif Trafo (%)

X_{t1} : Impedansi urutan positif Trafo (Ohm)

3) Perhitungan Impedansi Penyulang

Perhitungan impedansi penyulang merupakan impedansi pada penghantar suatu penyulang yang besarnya impedansi tersebut dipengaruhi oleh jenis, panjang, dan luas penampang penghantar. Penghantar saluran udara yang digunakan adalah AAAC [6].

4) Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan.

Perhitungan yang akan dilakukan ialah perhitungan besarnya nilai impedansi positif (Z_{1eq}) dan negatif (Z_{2eq}) dari titik gangguan sampai ke sumber yang meliputi penjumlahan impedansi penyulang dititik gangguan, impedansi trafo, dan impedansi sumber. Karena nilai impedansi ekuivalen urutan positif sama dengan urutan negatif, persamaan impedansi ekuivalen jaringan dapat pada (persamaan 5).

$$\begin{aligned} Z_{1eq} &= Z_{2eq} \\ &= Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1py} \end{aligned} \quad (5)$$

Dimana:

Z_{1eq} : Impedansi ekuivalen urutan positif (Ohm)

Z_{2eq} : Impedansi ekuivalen urutan negatif (Ohm)

Z_{s1} : Impedansi sumber urutan positif (Ohm)

Z_{t1} : Impedansi trafo urutan positif (Ohm)

Z_{1py} : Impedansi penyulang urutan positif

Arus Hubung Singkat 1 Fasa

$$I_{f1\phi-n} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad (6)$$

Dimana :

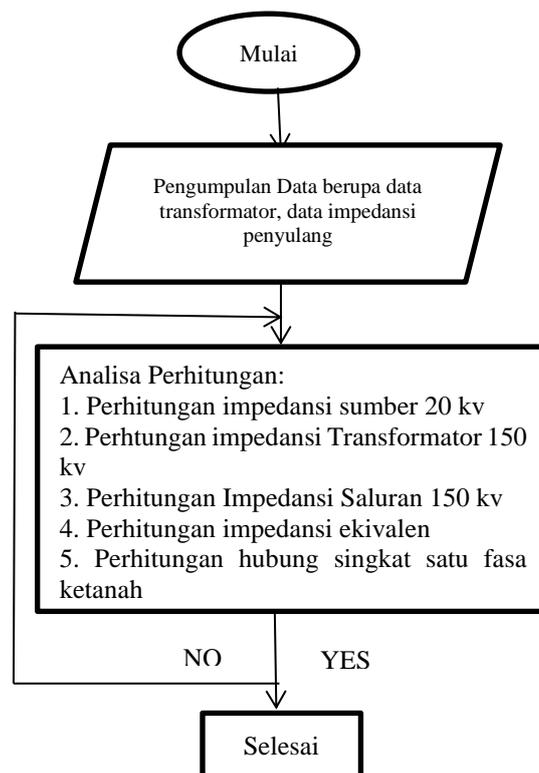
I_{f1-n} : Arus hubung singkat 1 fasa (A)

V_{ph} : Tegangan (phasa–netral) (V)

Z_{0eq} : Impedansi ekuivalen jaringan urutan Nol (Ω)

III. METODOLOGI

Metode penelitian ini diawali dengan tahapan observasi langsung ke lapangan di PT.PLN (Persero). Data yang diperoleh kemudian dilakukan pengolahan, perhitungan untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat 1 fasa ke tanah. Adapun alur penelitian di tunjukkann dalam gambar berikut ini :



Gbr. 3 diagram alir metodologi penelitian

IV. PEMBAHASAN

Dalam perhitungan ini dibutuhkan informasi kapasitas trafo dan impedansi *short-circuit* yang digunakan dalam perhitungan impedansi sumber dan impedansi trafo. Berikut adalah data dari *nameplate* trafo tenaga II gardu induk Teluk Betung (Tabel 1).

Tabel 1. Data Trafo Tenaga II Gardu Induk Teluk Betung.

Data Sumber	
Tegangan Primer Trafo	150KV
Arus Hubung Singkat 3 Fasa sisi Tegangan Primer	7,8 kA
MVA <i>Short Circuit</i>	2026,499 M VA
Tegangan Sekunder Trafo	20 KV
Reaktansi Sumber sisi Sekunder (X_s)	0,19738470 Ohm
Kapasitas Trafo	60 MVA
Impedansi Trafo (%)	12,641 %
Impedansi Trafo (X_{t1})	0,84273333 Ohm
Impedansi Trafo (X_{t0})	2,5282 Ohm
Tahanan Pentanahan (R_n)	40 Ohm

A. Perhitungan Impedansi

1) Impedansi Sumber

Impedansi sumber adalah nilai tahanan pada sisi 150 kV, yang mewakili semua unit pembangkit beroperasi. Adapun reaktansi (impedansi) sumber mencakup: impedansi sumber pembangkit, impedansi transformator tenaga di Pusat Listrik dan impedansi transmisi. sesuai (persamaan 7) [2] :

$$Z_{SC(\text{sisi } 150 \text{ kV})} = \frac{kV^2}{MVA_{SC}} \quad (7)$$

$$= 11,105 \Omega$$

Dimana nilai tegangan primer trafo (kV dan MVA didapat dari tabel 1). Karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat disisi 20 kV maka impedansi sumber tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi 20 kV. Sehingga perhitungan arus gangguan hubung singkat nanti sudah menggunakan tegangan 20 kV sebagai sumber, tidak lagi menggunakan tegangan 150 kV. Hal ini dilakukan karena semua impedansi sudah dikonversikan ke sistem tegangan 20 kV). Sesuai persamaan:

$$X_{SC} = \frac{kV (\text{sisi sekunder trafo})^2}{kV (\text{sisi Primer } 150 \text{ kV})^2} \times Z_s \quad (8)$$

$$= 0,1974 \Omega$$

Setelah mengetahui nilai reaktansi sumber pada sisi sekunder (20kV), kemudian dihitung nilai reaktansi pada transformator I menggunakan persamaan 3, didapat nilai X_t (Ohm) = 6,6 Ω untuk mendapatkan nilai reaktansi trafo tenaga menggunakan persamaan (9).

$$X_t = X(\%) \times X_t (\text{Ohm}) \quad (9)$$

$$X_t = 0,843 \Omega$$

Dimana nilai X% didapat dari tabel 1, nilai X_t didapat dari persamaan 9. Reaktansi urutan nol diperoleh dari data Transformator tenaga itu sendiri, yaitu transformator tenaga dengan

hubungan belitan ΔY dan mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya $X_{T0} = 3X_{T1}$.

$$X_{T0} = 3 \times X_{T1} \quad (10)$$

$$= 2,529 \Omega$$

2) Impedansi Penyulang

Impedansi penyulang yang akan dihitung disisi tergantung dari besarnya impedansi per km (ohm/km) dari penyulang yang dihitung, dimana besar nilainya ditentukan dari jenis penghantar, luas penampang dan panjang jaringan SUTM atau jaringan SKTM. Dalam perhitungan, ini diambil kabel A3C 150 mm², dan SUTM panjang 121,49 km, maka nilai impedansi kabel didapat menggunakan persamaan (10):

Tabel 2. Tabel Impedansi Urutan Positif

No	Jenis Penghantar	Ukuran (mm ²)	Impedansi urutan positif (Z ₁)
1	AAAC	150	0.2162+j0.330
2	AAACS	150	0,216 + j 0,338
3	AAAC	70	0,461 + j 0357

Tabel 3. Impedansi Urutan Nol

Impedansi Urutan Nol (Z ₀)
0,363 + j 1,618
0,363 + j 1,618
0,609 + j 1,645

$$Z = (R + jx) \text{ ohm/km} \quad (11)$$

$$Z_0 = (0,3631 + J 1,6180) \text{ ohm/km}$$

Bila panjang 127,5645 km dapat dihitung sebagai berikut :

$$Z_1=Z_2 = (0,2162 + J 0,3305) \times 127,5645 \text{ ohm/km}$$

$$= 27,58 + J 42.16 \text{ ohm}$$

$$Z_0 = (0,3631 + J 1,6180) \times 127,5645 \text{ ohm/km}$$

$$= 46,32+ J 206,4 \text{ ohm}$$

Dari persamaan (11) dapat dihitung nilai urutan positif dan negatif yang dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5

Tabel 4. Impedansi Penyulang Urutan Positif & Negatif

% Panjang	Impedansi Penyulang (Z1 & Z2)
0	0%. (27,58 + j 42.16) = 0
25 %	25% (27,58 + j 42.16) = 190,1641 + j10,54 Ω
50 %	50% (27,58 + j 42.16) = 380,3282 + j21,08 Ω
75 %	75% (27,58 + j 42.16) = 20,685 + j31,62 Ω
100 %	100% (27,58 + j 42.16) = 27,58 + j 42,16 Ω

Tabel 5. Impedansi Penyulang Urutan Nol

% Panjang	Impedansi Penyulang (Z0)
0	0%. (46,32+ j 206,4) = 0 Ω
25 %	25% (46,32+ j 206,4) = 11,58+ j51,6 Ω
50 %	50% (46,32+ j 206,4) = 23,16 + j103,2 Ω
75 %	75% (46,32+ j 206,4) = 34,74 + j154,8 Ω
100 %	100% (46,32+ j 206,4) = 46,32 + j 206,4 Ω

Perhitungan nilai gangguan arus 1 fasa

$$Z_{0eq} = Z_{X_{T0}} + 3 R_N + Z_{0 \text{ penyulang}} \quad (13)$$

$$= j 2,529 + 120 + Z_0 \text{ Penyulang}$$

Dimana nilai $Z_{X_{T0}}$ didapat dari persamaan 10 sedangkan nilai R_N terdapat pada tabel 1. Dengan mengetahui nilai impedansi jaringan, reaktansi sumber, dan reaktansi transformator, maka nilai gangguan arus 1 fasa dapat dihitung berdasarkan persamaan 14.

$$I_{f1 \phi} = \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \quad (14)$$

$$= 66,913 \text{ A}$$

B. Perhitungan Impedansi Ekuivalen dan Arus Gangguan

Perhitungan yang akan dilakukan adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekuivalen urutan positif (Z_{1eq}), ekuivalen urutan negatif (Z_{2eq}) dan impedansi ekuivalen urutan nol.

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} \quad (12)$$

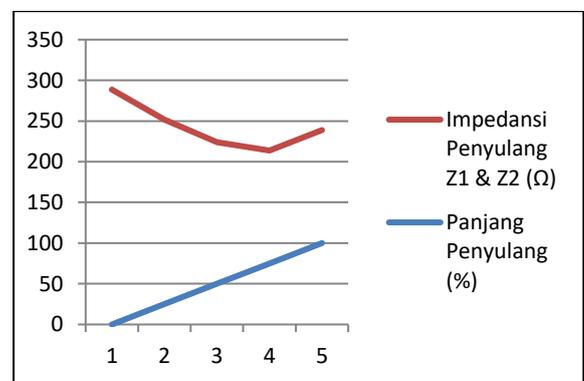
$$= Z_{Si(sisi 20 kv)} + Z_{t1} + Z_1 \text{ Penyulang}$$

$$= j1,0404 + Z_1 \text{ Penyulang}$$

Dimana nilai Z_s (sisi 20 kV) didapat dari tabel 1 dan Z_{t1} dari perhitungan hasil persamaan (9). Dalam penelitian ini lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, hasilnya dapat dilihat pada maka Z_{1eq} (Z_{2eq}) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Impedansi Ekuivalen

% Panjang	Impedansi Z_{1eq} (Z_{2eq})
0 %	0+j1,0404 = 0 Ω
25 %	j1,0404 190,1641 + j10,54 = 190,1641 + j11,5804 Ω
50 %	j1,0404 380,3282 + j21,08 ohm = 380,3282 + j22,1204 Ω
75 %	j1,0404 20,685 + j31,62 ohm = 20,685 + j32,6604 Ω
100 %	j1,0404 27,58 + j 42.16) = 27,58 + j43,2004 Ω



Gbr 4. Grafik korelasi panjang penyulang terhadap impedansi penyulang (hasil dari Tabel 6 dan 7)

Dari persamaan 14 didapat nilai arus perhitungan arus hubung singkat 1 fasa ketanah seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai arus gangguan hubung singkat 1 fasa

% Panjang	Nilai arus gangguan hubung singkat 1 fasa
0	$\frac{3464,032}{2(27,58 + j42,16) + (46,32 + j206,4)}$ = 288,62 Ω
25 %	$\frac{3464,032}{2(190,1641 + j10,54) + (131,58 + j54,129)}$ = 226,85 Ω
50 %	$\frac{3464,032}{2(380,3282 + j21,08) + (143,16 + j105,729)}$ = 173,748 Ω
75 %	$\frac{3464,032}{2(20,685 + j31,62) + (154,74 + j157,329)}$ = 138,71 Ω
100 %	$\frac{3464,032}{2(27,58 + j42,16) + (166,32 + j208,929)}$ = 138,895 Ω

V. PENUTUP

Berdasarkan grafik (gambar 4) panjang penghantar berbanding lurus dengan nilai impedansi, maka dapat diketahui bahwa semakin jauh/panjang penghantar, maka impedansinya semakin membesar.

REFERENSI

- [1] Amira, Asnal Effendi., 2014. *Studi Analisa Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ketanah Pada SUTT 150 KV untuk Setting Relay OCR (Aplikasi GI PIP – Pauh Limo)* yang dimuat pada Jurnal Teknik Elektro ITP Vol.3
- [2] Sarimun, W. .2012, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Depok: Garamond.
- [3] Octasari, Ika Permata. 2015. *Relai GFR Proteksi Gangguan Hubung Singkat Fasa Tanah Outgoing PWI 07 Kubikel 20 KV Trafo II GI Purwodadi 150/ 20 kV*. Semarang
- [4] PT PLN P3B JAWA-BALI. (2012). *Pengelolaan Sistem Proteksi Trafo-Penyulang 20 kV*. Jakarta: PT PLN (Persero)
- [5] Indra Baskara, I.W Sukerayasa, W.G Ariastina, *Studi Koordinasi Peralatan* .