

PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI ARUS PADATRAFO PEMAKAIAN SENDIRI KAPASITAS 54 MVA UNTUK SISTEM PLTU

Ahmad Deni Mulyadi, Ali Mashar, Prio Wijaksono
Jurusan Teknik Konversi Energi - Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga – Bandung 40012
Email :ahmad_dm@polban.ac.id

Abstrak

Transformator berfungsi untuk mentransformasikan energi listrik dari sisi primer ke sisi sekunder pada komponen-komponen utama dan pendukung dari suatu sistem pembangkit tenaga listrik. Dikarenakan pentingnya fungsi transformator ini, maka perlu didukung oleh sistem proteksi yang handal. Perancangan sistem proteksi yang handal ditentukan berdasarkan pertimbangan karakteristik transformator dan komponen pada peralatan tersebut, selain itu perlu mempertimbangkan nilai gangguan hubung singkat dan damage curve dari trafo tersebut. Transformator yang digunakan memiliki kapasitas 54 MVA, 22,8 kV/10,5 kV. Berdasarkan hasil rancangan, relai yang digunakan berupa relai arus lebih pada sisi 22,8 kV dengan setting arus hubung singkat 18,27 A dan waktu operasi 0,6 detik, seting arus beban lebih 5,468 A dan 2,112 detik. Hasil rancangan pun telah diverifikasi dengan software Electric Transient and Analysis Program (ETAP) untuk mengetahui selektivitas dari koordinasi relai.

Kata kunci : Proteksi Trafo, Seting Relai, Relai Arus, ETAP

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki populasi penduduk terbesar di dunia. Dengan demikian, kebutuhan tenaga listrik negara ini pun akan sangat tinggi. Oleh karena itu, tentu diperlukan pembangkit listrik yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satu pembangkit listrik yang berkontribusi paling besar pada sistem kelistrikan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) akan memanfaatkan energi uap yang dihasilkan oleh boiler untuk menghasilkan energi listrik. Komponen-komponen utama dari PLTU adalah boiler, turbin uap, generator, kondensor dan pompa. Selain komponen-komponen utama tersebut tentu ada komponen-komponen pendukung lainnya yang membantu sistem PLTU ini menghasilkan listrik,

Untuk mengoperasikan komponen-komponen utama maupun pendukung tersebut tentu dibutuhkan suplai energi listrik. Sumber energi listrik tersebut umumnya berasal dari output sistem PLTU itu sendiri, yang

didistribusikan oleh sebuah komponen bernama trafo pemakaian sendiri.

Trafo pemakaian sendiri akan menyuplai listrik ke beban-beban listrik AC maupun DC baik untuk komponen-komponen utama, maupun komponen-komponen pendukung PLTU tersebut. Dikarenakan pentingnya fungsi trafo pemakaian sendiri tersebut, tentu perlu didukung oleh sistem proteksi yang handal sehingga trafo pemakaian sendiri tersebut akan tetap terjaga keselamatannya, selain itu beban-beban yang dilayani oleh trafo pemakaian sendiri pun akan mendapat pelayanan yang baik karena setiap kegagalan yang bisa membahayakan trafo, seperti kegagalan di internal trafo, beban lebih, dan hubung singkat, sudah dapat diantisipasi dengan baik.

Atas dasar pemikiran itulah penulis mengambil penelitian rancangan sistem proteksi arus pada trafo pemakaian sendiri dengan kapasitas 54 MVA untuk sistem PLTU.

2. METODOLOGI

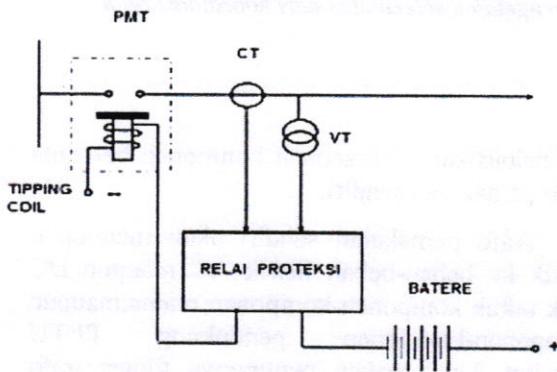
A. Trafo Pemakaian Sendiri

Trafo pemakaian sendiri adalah trafo daya yang berkapasitas lebih kecil dari trafo utama yang digunakan untuk mencatu kebutuhan daya sendiri pada pembangkit. Unit pembangkit sisi primer dari trafo pemakaian sendiri dihubungkan ke bus generator [1][2].

B. Sistem Proteksi

Sistem proteksi pada sistem tenaga listrik adalah sistem pengamanan pada peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, transformator, jaringan transmisi/distribusi dan lain-lain. Sistem ini akan mengamankan peralatan-peralatan terhadap kondisi operasi abnormal.

Berikut adalah gambar sistem dan komponen-komponen proteksi tenaga listrik.



Gambar 1 Komponen proteksi sistem tenaga listrik

Sistem proteksi tenaga listrik dirancang untuk mengidentifikasi kondisi sistem tenaga listrik berdasarkan informasi seperti arus, tegangan, frekuensi, dan atau sudut fasa. Informasi yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan besaran ambang-batas (*threshold setting*) pada peralatan proteksi. Apabila besaran yang diperoleh dari sistem melebihi atau kurang dari *setting* ambang-batas peralatan proteksi, maka sistem proteksi akan bekerja untuk mengamankan kondisi tersebut [3][4].

C. Proteksi Arus Lebih pada Transformator

Proteksi arus lebih ditujukan sebagai pengaman terhadap perubahan arus yang sangat besar dalam waktu yang cepat yang disebabkan

karena hubung singkat. Pada proteksi arus lebih ini, relai akan bekerja jika besar arus melebihi nilai seting [5][6]. Elemen dasar dari proteksi arus lebih adalah relai arus.

Perhitungan seting relai dan parameter apa saja yang perlu dicari dalam pemilihan/ *setting* proteksi arus lebih dapat menggunakan persamaan pada WECC [7].

(1) Arus Nominal.

Arus nominal adalah arus kerja dari suatu peralatan listrik.

$$I_N = I_{full\ load} = \frac{S_{Base}}{\sqrt{3}V_{Base}}$$

(2) Rasio CT

Rasio CT berdasarkan arus nominal peralatan atau dari kabel.

$$Rasio\ CT = \frac{I_{Primer}}{I_{Sekunder}}$$

(3) Arus seting sisi primer CT

- Untuk tipe relai *instantaneous* atau *definite*

$$I_{setting\ primer} = 100\% \text{ s/d } 500\% \times I_{full\ load}$$

- Untuk tipe relai invers

$$I_{setting\ primer} = 100\% \text{ s/d } 150\% \times I_{full\ load}$$

(4) Arus yang mengalir ke relai

$$I_{setting\ sekunder} = I_{setting\ primer} \times \frac{1}{rasio\ CT}$$

(5) Waktu operasi ($t_{setting}$)

adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu pengaman (relai) untuk bekerja.

- Untuk tipe relai *instantaneous* atau *definite*

$$t_{op} = t_r + t_{PMT} + t_{sm}$$

- Untuk tipe relai invers

$$T_{op} = TMS \times \frac{k}{(I_{setting})^{\alpha-1}} + c$$

D. Proteksi Beban Lebih

Proteksi beban lebih mengamankan transformator dari kerusakan akibat adanya beban (arus) melebihi kapasitas, jika terlalu lama akan menyebabkan panas pada kumparan transformator dan merusak isolasi kumparan transformator [8][9].

Proteksi beban lebih untuk trafo harus diberikan *delay* waktu. Proteksi Beban lebih dapat memanfaatkan *overcurrent relay* dengan tipe invers.

E. Analisis Hubung Singkat

Analisis arus gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik dilakukan saat dalam keadaan gangguan hubung singkat, untuk memperoleh besar nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan akibat gangguan hubung singkat tersebut. Perhitungan arus gangguan hubung singkat digunakan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi.

Metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung berbagai jenis gangguan hubung singkat [10].

(1) Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

$$I_f = \frac{V_{L-N}}{Z_{ekv1}}$$

(2) Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat DuaFasa

$$I_f = \frac{V_{L-L}}{Z_{ekv1} + Z_{ekv2}}$$

(3) Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat DuaFasa ke Tanah

$$I_f = \frac{V_{L-L} \times (Z_{ekv0} - Z_{ekv2})}{Z_{ekv1} \times Z_{ekv2} + (Z_{ekv1} + Z_{ekv2}) \times Z_{ekv0}}$$

(4) Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat SatuFasa ke Tanah

$$I_f = \frac{3 V_{L-N}}{Z_{ekv1} + Z_{ekv2} + Z_{ekv0}}$$

F. Damage Cruve

Selama beberapa tahun, insinyur proteksi telah menggunakan damage curve pada trafo sebagai pedoman untuk menentukan nilai dari proteksi trafo. Kurva ini terdiri dari nilai waktu dan arus yang sama-sama menggabungkan kapabilitas termal dan mekanikal dari trafo daya. Waktu kerusakan adalah dalam perkiran karena kurva tersebut tidak pasti.

3. PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI

A. Penentuan Spesifikasi Trafo

Dalam hal ini, digunakan trafo pemakaian sendiri di PLTU Tanjung Jati B unit 1.

Tabel 1 Spesifikasi trafo

Daya	54	MVA
Jumlah Fasa	3	
Frekuensi	50	Hz
Tegangan	Primer	22,8 kV
	Sekunder	10,5 kV
Arus Nominal	Primer	1.367 A
	Sekunder	2.969 A
Impedansi	12,500	%
Reaktansi	12,492	%
Resistansi	0,443	%
Vector	Dyn11	
Angle	-30	°
Metode Pendinginan	ONAF	
Sistem Pentanahan	NGR	
	I _{maksimum}	400 A
	Resistansi	15,2 Ohm
	Waktu	10 detik

B. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Dari hasil perhitungan yang sebelumnya dilakukan, maka akan didapatkan tabel nilai-nilai gangguan hubung singkat berikut.

Tabel 2 Nilai-nilai berbagai jenis gangguan hubung singkat

No.	Jenis Gangguan Hubung singkat	I _f (kA) titik 1	I _f (kA) titik 2	I _f (kA) titik 3
1	1 Fasa ke tanah	0,39848	0,39847	0,39833
2	2 Fasa	12,32300	12,31100	12,20700
3	2 Fasa ke tanah	12,31900	12,30700	12,20200
4	3 Fasa	14,22900	14,21600	14,09500

Keterangan titik gangguan tersebut adalah sebagai berikut

maka dapat ditentukan spesifikasi PMT yang digunakan berdasarkan standar.

Tabel 8 Spesifikasi pemutus tenaga sisi 22,8 kV

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Standar	IEEE
2.	Pasangan	Luar
3.	Media PMT	Vacuum
4.	Tegangan Operasi	22.800 V
5.	Arus Nominal	2.734 A
6.	Breaking Capacity	25.000 A

Tabel 9 Spesifikasi pemutus tenaga sisi 10,5 Kv

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Standar	IEEE
2.	Pasangan	Dalam
3.	Media PMT	Vacuum
4.	Tegangan Operasi	10.500 V
5.	Arus Nominal	2.969 A
6.	Breaking Capacity	20.000 A

G. Penentuan Spesifikasi Catu daya

Tabel 10 Spesifikasi catu daya

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Tipe	Baterai Nickel Cadmium
2.	Jumlah sel	38 sel
3.	Tegangan Baterai	1,47 V/sel
4.	Tegangan	54 V
4.	Kapasitas	369 AH

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan Hasil Rancangan dengan Data di Lapangan

Tabel 12 Perbandingan hasil rancangan dengan data di lapangan

No	Nama Relai	Data hasil rancangan	Data di lapangan
1	Relai Arus Lebih Sisi 10,5 kV	Tipe <i>instantaneous</i>	N/A
		$I_{seting} = 400\% I_n$	
		$I_{seting\ relai} = 19,793\ A$	
		$t_{op} = 0,2\ detik$	
2	Relai Arus lebih sisi 22,8 kV	Seting arus hubung singkat	Seting arus hubung singkat
		Tipe <i>definite</i>	Tipe <i>definite</i>
		$I_{seting} = 400\% I_n$	$I_{seting} = 500\% I_n$
		$I_{seting\ relai} = 18,27\ A$	$I_{seting\ relai} = 22,8\ A$
		$T_{op} = 0,6\ detik$	$t_{op} = 1\ detik$

		Seting arus beban lebih	Seting arus beban lebih
		Tipe <i>extremely inverse</i>	Tipe <i>extremely inverse</i>
		$I_{seting} = 120\% I_n$	$I_{seting} = 150\% I_n$
		$I_{seting\ relai} = 5,468\ A$	$I_{seting\ relai} = 6,84\ A$
3	Relai Arus lebih netral	$t_{seting} = 2,112\ detik$	$t_{seting} = 4\ detik$
		Tipe <i>definite</i>	Tipe <i>definite</i>
		$I_{seting} = 25\% I_{kapasitas\ ngr}$	$I_{seting} = 30\% I_{kapasitas\ ngr}$
		$I_{seting\ relai} = 1,25\ A$	$I_{seting\ relai} = 1,5\ A$
		$t_{seting} = 9,82\ detik$	$t_{seting} = 10\ detik$

1. Analisis Relai Arus Lebih Sisi 22,8 kV

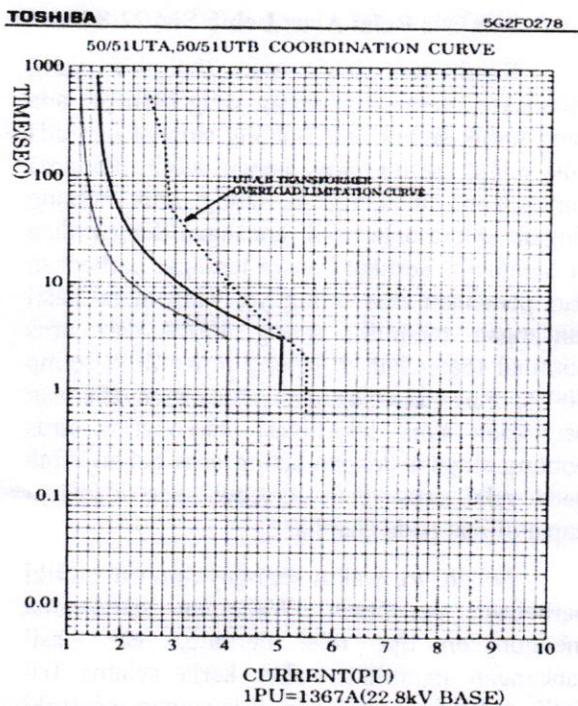
Relai arus lebih sisi 22,8 kV yang digunakan memiliki 2 seting yang berbeda, ada yang untuk seting arus hubung singkat dan ada pula untuk seting arus beban lebih. Pertama tama akan dibandingkan seting arus hubung singkat antara data hasil rancangan dengan data di lapangan. Terlihat bahwa terdapat perbedaan dari penentuan arus setingnya, yang mana hasil rancangan memiliki seting 400% dari arus nominal sedangkan di lapangan memiliki seting 500%. Perbedaan tersebut akan menyebabkan perbedaan pola koordinasi dari seting arus hubung singkat dengan seting arus beban lebih pada relai arus lebih tersebut. Perbedaannya dapat dilihat pada Gambar 5.

Selain itu, waktu setingnya pun memiliki perbedaan penentuan. Walaupun sama-sama menggunakan tipe relai definite, relai hasil rancangan memiliki waktu kerja selama 0,6 detik sedangkan yang ada di lapangan memiliki waktu kerja selama 1 detik. Penentuan waktu kerja relai tersebut mempertimbangkan pula waktu kerja atau waktu seting dari relai arus lebih sisi 10,5 kV karena alasan selektifitas. Sehingga dimungkinkan perbedaan penentuan waktu kerja atau waktu seting dari relai arus lebih sisi 10,5 kV yang menyebabkan perbedaan waktu seting pada relai arus lebih sisi 22,8 kV.

Selanjutnya adalah membandingkan seting beban lebih antara data hasil rancangan dan data di lapangan. Terlihat walaupun sama-sama menggunakan tipe relai extremely invers,

relai hasil rancangan memiliki waktu seting sebesar 2,112 detik sedangkan yang ada di lapangan memiliki waktu seting sebesar 4 detik. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh arus seting yang berbeda, yang tentu akan menghasilkan pola koordinasi yang berbeda.

Perbedaan arus dan waktu seting baik pada arus hubung hubung singkat maupun arus beban lebih tersebut tidak menjadi masalah mengingat kerja relai hasil rancangan tetap berada di zona aman berdasarkan damage curve trafo tersebut. Jika dibandingkan dengan seting data di lapangan, seting hasil rancangan lebih cepat untuk gangguan hubung singkat maupun untuk gangguan beban lebih.



Keterangan :

- = Relai arus lebih di lapangan
- = Relai arus lebih hasil rancangan

Gambar 5 Koordinasi relai arus lebih

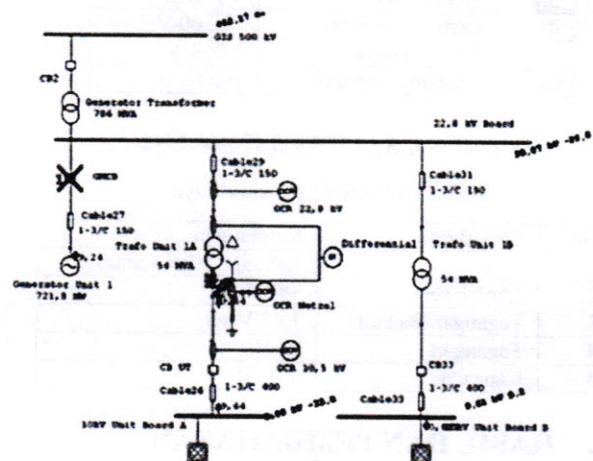
2. Analisis Relai Arus Lebih Netral

Parameter yang bisa dibandingkan mengenai relai arus lebih netral berdasarkan data hasil perancangan dan data di lapangan adalah arus seting dan waktu seting. Terlihat untuk arus seting terdapat perbedaan sebesar 5% antara hasil perancangan dan data di lapangan, yang mana hasil perancangan nilainya lebih kecil.

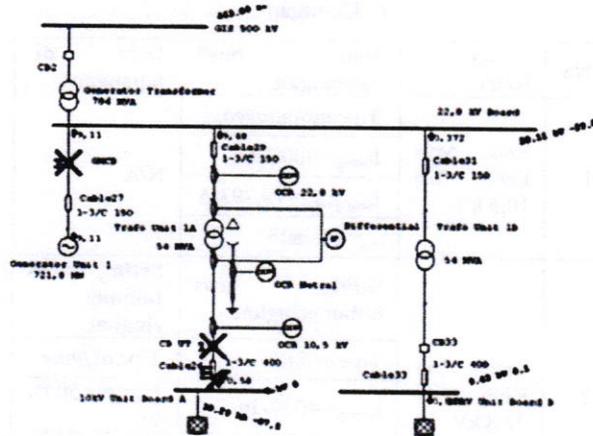
Sedangkan untuk waktu seting terdapat pula perbedaan sebesar 0,18 detik. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh perbedaan pertimbangan spesifik dari waktu kerja PMT dan faktor keamanan. Yang mana data di lapangan tidak disebutkan spesifik satu per satu.

B. Analisis Menggunakan ETAP

Pada analisis menggunakan software ETAP ini dapat dilakukan simulasi koordinasi proteksi dari gangguan yang terjadi. Dipilihlah asumsi 2 titik gangguan berbeda yang telah ditentukan di bab sebelumnya. Letak gangguan tersebut dapat dilihat di Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Simulasi gangguan titik ke-2



Gambar 7. Simulasi gangguan titik ke-3

Pertama-tama akan dibahas mengenai simulasi gangguan titik ke-2. Dari simulasi tersebut terlihat bahwa kontak GMCB terbuka saat terjadinya gangguan akibat perintah kerja dari seting arus hubung singkat relai OCR 22,8 kV. Sedangkan kontak CB UT tidak terbuka akibat tidak bekerjanya OCR 10,5 kV.

Selanjutnya akan dibahas mengenai simulasi gangguan titik ke-3. Dari simulasi tersebut terlihat bahwa pertama-tama kontak CB UT terbuka akibat perintah kerja dari seting arus hubung singkat OCR 10,5 kV, selanjutnya disusul terbukanya pula kontak GMCB akibat perintah kerja dari seting arus hubung singkat relai OCR 22,8 kV.

Dari hasil 2 simulasi tersebut, terlihat bahwa rancangan sistemnya sudah benar. Jika terjadi gangguan di titik 2 relai arus lebih sisi 22,8 kV yang lebih dahulu bekerja dengan membuka kontak GMCB, sedangkan relai arus lebih sisi 10,5 kV tidak bekerja sama sekali. Sedangkan jika terjadi gangguan di titik 3 relai arus lebih sisi 10,5 kV yang terlebih dahulu bekerja dengan membuka kontak CB UT, selanjutnya disusul bekerjanya relai arus lebih sisi 22,8 kV yang membuka kontak GMCB. Sehingga terlihat untuk gangguan di titik 3 ini relai arus lebih sisi 10,5 kV yang bekerja sebagai proteksi utama sedangkan relai arus lebih sisi 22,8 kV sebagai proteksi cadangan untuk titik gangguan tersebut. Dari hal tersebut bahwa sistem proteksi yang dirancang sudah bersifat selektif.

Hanya saja kekurangan dari simulasi ini adalah tidak samanya *damage curve* trafo dan karakteristik relai tipe *extremely invers* yang digunakan sehingga garis *damage curve* dan karakteristik relai *extremely invers* pada grafik koordinasi proteksi tersebut tidak menggambarkan keadaan trafo dan relai yang sebenarnya digunakan. Tapi secara konsep dari simulasi tersebut menyatakan bahwa hasil rancangan sistem proteksi sudah benar karena untuk 2 asumsi titik gangguan tersebut terlihat bahwa sistem yang dirancang masih berada di zona aman dari trafo tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perancangan sistem proteksi trafo pemakaian sendiri dengan kapasitas 54 MVA dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. pemakaian sendiri pada sisi 22,8 kV adalah 1.500/5 A, pada sisi 10,5 kV adalah 3.000/5 A dan pada sisi pentanahan adalah 400/5 A. Ketiga trafo arus tersebut memiliki kelas 5P20 dengan rated burden 15 VA.
2. Pada sisi tegangan 22,8 kV, digunakan pemutus tenaga (PMT) dengan tegangan nominal 22.800 V, arus nominal 2.734 A dengan breaking capacity 25.000 A, Pada sisi 10,5 kV digunakan PMT dengan tegangan nominal 10.500 V, arus nominal 2.969 A dan breaking capacity 20.000 A.
3. Setting relai arus hubung singkat (OCR) pada sisi 10,5 kV, arus pick up = 19,793 A dan waktu operasi 0,2 detik.
4. Setting OCR pada sisi 22,8 kV, arus pick up 18,227 A dan waktu operasi 0,42 detik. Setting relai arus beban lebih: arus pick-up = 5,468 A dan waktu = 2,112 detik
5. Setting relai arus lebih netralnya: arus pick-up = 1,25 A dan waktu = 9,82 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harlow, James H., "Electric Power Transformer Engineering", United States of America: CRC Press LLC, 2004.
- [2] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE Std C37.91TM Guide for Protecting Power Transformers", United States of America: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2008.
- [3] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE Std 241 Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power", United States of America: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2001.
- [4] Alawiy, Muhammad Taqqiyudin, "Proteksi Sistem Tenaga Listrik", Malang: Fakultas Teknik Elektro Universitas Islam Malang, 2006.

- [5] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE Std 551TM Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power System", United States of America: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2006.
- [6] Tjahjono, Hendro., "Modul Kuliah Analisa Sistem Tenaga Listrik", Universitas JayaBaya, Jakarta, 2000.
- [7] Relay Work Group, "Relaying Current Transformer Application Guide", WECC, June 1989
- [8] Liem Ek Bien dan Dita Helna, "Studi Penyetelan Relai Diferensial Pada Transformator Pt Chevron Pacific Indonesia", Journal JETri, Volume 6, Nomor 2, Februari 2007, Hal. 41 - 68, ISSN 1412-0372
- [9] Zulkarnaini Zulkarnaini dan Mohammad Iqbal, "Perhitungan Koordinasi Relay Proteksi Ocr / Gfr Dengan Menggunakan Software Mathcad Pada Trafo Daya Unit Ii 20 Mva Gi Salak", Jurnal Momentum Vol 17, No 2 (2015), hal. 76-86
- [10] Glover, J. Duncan., Sarma, Mulukutla. S., Overbye, dan Thomas.J. "PowerSystem Analysis and Design 4th Edition", United States of America: Thomson Corporation, 2008.