

ANALISIS *SETTING* ULANG RELAI ARUS LEBIH DAN RELAI GANGGUAN FASA TANAH BAY PENGHANTARMRANGGEN 2 DI GARDU INDUK UNGARAN

¹⁾Wendi Rahardian, ²⁾Moh. Toni Prasetyo, ³⁾Luqman Assaffat

Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Semarang

Jl. Kedung mundu raya No.18 kel. Kedung mundu kec. Tembalang, Kota Semarang – 50273

email : wendirahardiann@gmail.com

ABSTRAK

Kehandalan sistem proteksi sangat diperlukan demi kontinuitas penyaluran tenaga listrik dan menjaga peralatan dari kerusakan akibat gangguan. Pekerjaan rekonduktoring Tower 26 – 46 Ungaran Mranggen line 2 yang menyebabkan perubahan konduktor dari tipe ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) 240/30mm² menjadi TACSR (Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced) 410/67 mm², sehingga terjadi peningkatan kemampuan hantar kawat penghantar menjadi 1600 A. Tujuan dari penelitian ini yaitu resetting ulang relai GFR (Ground Fault Relay) dan OCR (Over Current Relay) merupakan suatu relai yang bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga relai ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. Perubahan ini berpengaruh dalam setting arus lebih dan relai gangguan fasa ke tanah sehingga nilai setting nya menjadi 1920 A dan 320A, nilai impedansi ekuivalen juga berubah untuk nilai total urutan positifnya menjadi $1.6625+12.29656j \Omega$, impedansi urutan negatif $1.6625+12.29656j \Omega$, dan untuk urutan nol $1.65842+11.75236j \Omega$ dari perubahan impedansi ini mempengaruhi nilai arus hubung singkatnya yang menjadi menyebabkan waktu bekerja relai juga berubah menjadi lebih lambat oleh karena itu dilakukan setting ulang relai pada Bay Mranggen 2 di GI Ungaran.

Kata kunci : OCR, GFR, Resetting Relay, Short Circuit Current, ACSR, TACSR

ABSTRACT

The reliability of the protection system is very necessary for the continuity of electric power distribution and to protect equipment from damage due to interference. The reconducting work of Tower 26 - 46 Ungaran Mranggen line 2 which caused a change in the conductor from the type ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced) 240/30mm² to TACSR (Thermal Aluminum Conductor Steel Reinforced) 410/67 mm², so that there was an increase in the conductor's wire conductor ability to 1600 A. The purpose of this study is resetting the GFR (Ground Fault Relay) and OCR (Over Current Relay) relays, which are relays that work based on an increase in current that exceeds a certain safety value within a certain period of time, so that this relay can be used as an overcurrent safety pattern. This change has an effect in the overcurrent setting and phase fault relay to the ground so that its setting values become 1920 A and 320A, the equivalent impedance value also changes for the total value of its positive sequence to $1.6625+12.2965j \Omega$, negative sequence impedance $1.6625+12.2965j \Omega$, and for the order of zero $1.65842+11.75236j \Omega$, from this change in impedance affects the value of the short circuit current which causes the working time of the relay to also change to be slower therefore a relay reset is carried out on Bay Mranggen 2 in GI Ungaran.

Keywords : Ground fault relay, Overcurrent Relay, Resetting Relay, ACSR, TACSR.

1. PENDAHULUAN**A. Latar Belakang**

Perkembangan teknologi pada era modern sangat pesat mulai dari terciptanya mesin – mesin listrik, berbagai jenis peralatan elektronik komunikasi dan hiburan yang membutuhkan energi listrik. Selain itu Kota Semarang merupakan pusat ekonomi dan banyak industri sehingga banyak mendorong penduduk untuk pindah ke wilayah perkotaan, dengan perkembangan teknologi dan penambahan penduduk ini mendorong peningkatan penggunaan tenaga listrik yang cukup

besar.

Melihat kebutuhan energi listrik terus meningkat di wilayah Semarang maka pada tanggal 7 Februari 2020 dilaksanakan pekerjaan rekonduktoring SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) Tower 24 sampai tower 46 Ungaran – Mranggen Line 2, pekerjaan rekonduktoring ini digunakan supaya konduktor memenuhi syarat 2N-1, syarat 2N-1 ini berarti konduktor mampu menampung beban 2 kali dari I nominal ketika beroperasi hal ini berguna ketika pada saat salah satu sirkit dilakukan pemeliharaan, maka sirkit yang lain harus

dapat menampung bebannya sendiri dan beban tambahan dari sirkit yang sedang dipelihara.

Akibat dari pekerjaan rekonduktoring tersebut maka terjadi perubahan dari konduktor ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) 240/40mm² menjadi TACSR (Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced) 410/67 mm² sehingga terjadi perubahan impedansi penghantar dan perubahan daya hantar arus (Current Carrying Capacity) dan menyebabkan settingan relai yang lama harus diubah khususnya Relai Arus Lebih / OCR (Over Current Relay)

2. *STUDI LITERATUR*

Rekomendasi mengganti relai yang mempunyai range arus pickup dan setting waktu kerja yang besar dalam hal ini penulis menyarankan relai yang harus diganti relai di sisi incoming dan sisi penyulang, dan diharapkan pada setiap relay menggunakan merek yang sama agar lebih mudah dalam mensettingnya, karena setiap relay mempunyai range yang berbeda. (Klalik Alrida, 2016).

Recloser adalah rangkaian listrik yang terdiri dari pemutus tenaga yang dilengkapi kotak kontrol elektronik (Electronic Control Box). Recloser bekerja dengan menutup

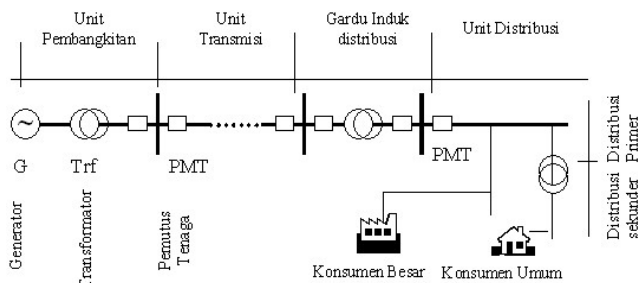
balik dan membuka secara otomatis yang dapat diatur selang waktunya. Recloser dilengkapi dengan Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR). Over Current Relay (OCR) adalah suatu relai yang bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dalam jangka waktu tertentu, sehingga relai ini dapat dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. Ground Fault Relay (GFR) adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan adanya hubung singkat fasa ke tanah. (Bambang Winardi, 2017)

A. Alur Distribusi Daya Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan Hubungan interkoneksi yang diintegrasikan oleh jaringan transmisi dari bagian sentral tenaga listrik hingga menuju ke gardu induk sebagai pusat beban. Komponen - komponen yang saling dihubungkan dalam satu integrasi sehingga menciptakan suatu sistem antara lain : Generator, Transformator, Saluran Transmisi, Saluran Distribusi dan Pusat beban.

Penyaluran energi listrik kepada para pelanggan secara skematis digambarkan seperti Gambar1. dimana tercakup ketiga unsur dari sistem tenaga listrik.

Persamaan matematika dinomori dengan Angka Arab di dalam tanda kurung buka tutup A.



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik Distribusi

B. Sistem Interkoneksi

Sistem interkoneksi merupakan sistem dengan banyak pusat listrik ekstra tinggi hingga kapasitas diatas 100 MW serta memiliki gardu induk (GI) yang disebut sebagai pusat beban pusat beban. Saluran transmisi digunakan untuk menghubungkan sistem ini, sehingga sistem dapat saling beroperasi dan saling terinterkoneksi satu sama lain nya. Sedangkan subsistem distribusi tidak terhubung satu sama lain. Hal ini karena setiap gardu induk merupakan pusat beban sendiri terhadap jaringan distribusi sehingga terbentuk subsistem distribusi yang berbeda - beda, guna menyediakan kebutuhan tenaga listrik untuk konsumennya.

Sistem interkoneksi saling mempengaruhi satu sama lain dalam operasi pusat listrik, sehingga koordinasi operasi sangat diperlukan. Pusat pengatur beban merupakan pihak pelaksana koordinasi. Koordinasi tersebut meliputi :

1. Prosedur mengatasi gangguan (*Fault*)
2. Pengaturan Tegangan (*Voltage Regulator*)

3. Pembagian beban yang ekonomis
4. Pengaturan frekuensi
5. Koordinasi pemeliharaan

C. Sistem Terisolir

Sistem yang terisolir adalah sistem yang tidak ada hubungan interkoneksi dengan beberapa pusat listrik dan jaringan umum (interkoneksi milik PLN) dan hanya terdapat sebuah pusat listrik saja. Contoh sistem terisolir adalah pengeboran minyak lepas pantai yang berada ditengah laut. Pada sistem yang terisolir, beban dibagi antar unit – unit pembangkit dalam suatu pusat listrik. Tujuannya menghindari masalah penyaluran daya antara pusat listrik seperti pada sistem interkoneksi.

D. Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan saluran perantara yang menghubungkan sistem pembangkitan ke sistem distribusi dengan tujuan untuk menyalurkan energi listrik. Saluran transmisi dikelompokkan menjadi dua jenis, antara lain : saluran kabel tanah (*underground cable*) dan saluran udara (*overhead line*). Melalui konduktor pada tower – tower transmisi yang digantung dengan menggunakan isolator keping, dan bantuan kabel - kabel yang dilindungi oleh isolasi berupa minyak yang ditanam dibawah permukaan tanah, saluran udara dan saluran kabel tanah ini dapat menyalurkan energi listrik.

Berdasarkan jenis arus yang ditransmisikan, diperoleh jenis sistem arus

bolak-balik (Alternating Current, AC) serta sistem searah (Direct Current, DC). PT. PLN (Persero) menggunakan transformasi tegangan AC dikarenakan sistem transmisi dan transformasi tegangan AC lebih sederhana dan ekonomis dibandingkan sistem transformasi tegangan DC.

3. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan metode pengamatan langsung di lokasi dan objek penelitian. Data didapatkan dari hasil pengujian dan resetting relai arus lebih dalam pemeliharaan rutin 2 tahunan Bay Penghantar Mranggen 2.

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengambil data paten yang sudah tersedia di lokasi dan objek penelitian. Dalam penelitian ini diperoleh data sekunder berupa data penghantar lama dengan data penghantar baru, nameplate CT (*Current Transformer*) 150kV Bay Penghantar Mranggen 2, data relai OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*), nilai setting rele arus lebih, serta besar nilai arus hubung singkat di sisi 150 kV Gardu Induk Ungaran.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di PT. PT PLN (PERSERO) UIT-JBT UPT

Semarang GITET Ungaran didirikan di kelurahan Langensari, Kecamatan Ungaran Barat, Kabupaten Semarang. Tepatnya berlokasi di Jalan Jendral Sudirman Km.23. Waktu penelitian ini adalah selama bulan oktober hingga Desember 2020.

C. Analisa Data

Melakukan analisis terhadap perhitungan yang telah dilakukan. Selain membandingkan perhitungan manual dengan rumus, dalam penelitian tugas akhir juga menganalisis perbandingan hubungan antara perhitungan dengan hasil record pengujian yang telah dilakukan di Bay Penghantar Mranggen 2. Perbandingan perhitungan dengan hasil pengujian, serta mengacu pada SKDIR 114.K/DIR/2010, digunakan untuk menentukan data setting dan performa dari Rele Arus Lebih yang terpasang di Bay Penghantar Mranggen 2 dapat dikatakan layak operasi atau tidak.

D. Langkah Penelitian

1. Persiapan Penelitian

Persiapan yang dilakukan sebelum penelitian yaitu studi literatur dan menentukan objek dan lokasi penelitian. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari sistem proteksi dari referensi buku atau jurnal. Selain itu metode observasi dan wawancara

langsung dengan pegawai PT. PLN ULTG Semarang juga dilakukan untuk menambah wawasan dan literasi.

2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan metode pengamatan langsung di lokasi dan objek penelitian. Data didapatkan dari hasil pengujian dan resetting relai arus lebih dalam pemeliharaan rutin 2 tahunan Bay Penghantar Mranggen 2.

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengambil data paten yang sudah tersedia di lokasi dan objek penelitian. Dalam penelitian ini diperoleh data sekunder berupa data penghantar lama dengan data penghantar baru, nameplate CT (Current Transformer) 150kV Bay Penghantar Mranggen 2, data relai OCR (Over Current Relay) dan GFR (Ground Fault Relay), nilai setting rele arus lebih, serta besar nilai arus hubung singkat di sisi 150 kV Gardu Induk Ungaran.

3. Pengolahan Data

Perhitungan menghasilkan nilai arus hubung singkat yang terjadi di jarak tertentu. Perhitungan dilakukan 1 metode yaitu metode manual dengan rumus.

4. Analisis

Melakukan analisis terhadap perhitungan yang telah dilakukan. Selain

membandingkan perhitungan manual dengan rumus, dalam penelitian tugas akhir juga menganalisis perbandingan hubungan antara perhitungan dengan hasil record pengujian yang telah dilakukan di Bay Penghantar Mranggen 2. Perbandingan perhitungan dengan hasil pengujian, serta mengacu pada SKDIR 114.K/DIR/2010, digunakan untuk menentukan data setting dan performa dari Rele Arus Lebih yang terpasang di Bay Penghantar Mranggen 2 dapat dikatakan layak operasi atau tidak.

5. Implementasi

Setelah mendapatkan perbandingan antara perhitungan manual dengan pengujian relai arus lebih, setting baru diimplementasikan kepada objek eksisting apabila terdapat perbedaan yang jauh dan hasil analisis dinyatakan tidak baik. Dengan begitu setting yang baru dapat menjadikan syarat proteksi dapat tercapai dengan baik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Arus Hubung Singkat

1. Perhitungan impedansi penghantar

Berdasarkan data Tabel 3.1, jenis konduktor yang digunakan ada TACSR 2 x 410/67 mm² maka akan diperoleh impedansi penghantar dengan menggunakan persamaan 2.9 dan 2.10 yaitu :

Z1 pada jarak 10% = $(R+jX)/kms \times 2,02$
kms

$$= (0,821+5,818j)$$

$$= 1,65842 + 11,75326j$$

Z0 pada jarak 10% = $(R+jX)/kms \times 2,02$
kms

$$= (0,3106 + 1,4668j) \times 2,02 \text{ kms}$$

$$= 0,627412 + 2,962936j$$

Dari perhitungan tersebut besaR impedansi bedasarkan lokasi gangguan pada saluran transmisi, sehingga didapatkan tabel sebagai berikut :

Tabel 1. Impedansi Urutan Positif Dan Negatif

% Panjang	Jarak (kms)	Impedansi penghantar (Z1 dan Z2)
10%	2,02	0,165842+1,175236j
20%	4,04	0,331684+2,350472j
30%	6,06	0,497526+3,525708j
40%	8,08	0,663368+4,700944j
50%	10,1	0,82921+5,87618j
60%	12,12	0,995052+7,051416j
70%	14,14	1,160894+8,226652j
80%	16,16	1,326736+9,401888j
90%	18,18	1,492578+10,577124j
100%	20,2	1,65842+11,75236j

Tabel 2. Impedansi Urutan Nol

% Panjang	Jarak (kms)	Impedansi Penghantar Z0
10%	2,02	0,627412+2,962936j
20%	4,04	1,254824+5,925872j
30%	6,06	1,882236+8,888808j
40%	8,08	2,509648+11,851744j
50%	10,1	3,13706+14,81468j
60%	12,12	3,764472+17,777616j
70%	14,14	4,391884+20,740552j
80%	16,16	5,019296+23,703488j
90%	18,18	5,646708+26,666424j
100%	20,2	6,27412+29,62936j

2. Perhitungan impedansi ekuivalen

Perhitungan impedansi ekuivalen merupakan penjumlahan impedansi sumber dengan impedansi penghantar, sehingga merepresentasikan impedansi dari titik gangguan sampai ke sumber.

3. Impedansi ekuivalen positif dan negatif (Z1ek atau Z2ek)

Contoh perhitungan menggunakan panjang jaringan sebesar 10 %, dan perhitungan menggunakan persamaan 2.13

4. Perhitungan Arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa

Contoh perhitungan menggunakan data $Z1ek = ZSumber + ZPenghantar$ pada jarak 10 % dari panjang penghantar.

$$Z1ek10\% = (0,00408 + 0,05442j) + (0,165842 + 1,175236j)$$

$$= 0,16922 + 1,719436j$$

Tabel 3. Impedansi Ekuivalen Urutan Positif / Negatif Mranggen 2

% Panjang	Jarak (kms)	Impedansi ekuivalen (Z1 dan Z2)
10%	2,02	0,169922+ 1,719436j
20%	4,04	0,335764+2,894672j
30%	6,06	0,501606+4,069908j
40%	8,08	0,667448+5,245144j
50%	10,1	0,83329+6,42038j
60%	12,12	0,999132+7,595616j
70%	14,14	1,164974+8,770852j
80%	16,16	1,330816+9,946088j
90%	18,18	1,496658+11,121324j
100%	20,2	1,6625+12,29656j

1. Impedansi ekuivalen urutan nol (Z0ek) Contoh perhitungan menggunakan panjang jaringan sebesar 10 %, perhitungan menggunakan persamaan 2.14

Tabel 4. Impedansi ekuivalen urutan nol mranggan 2

% Panjang	Jarak (kms)	Impedansi Ekuivalen Z0
10%	2,02	0,628414+2,991326j
20%	4,04	1,255826+5,954262j
30%	6,06	1,883238+8,917198j
40%	8,08	2,51065+11,880134j
50%	10,1	3,138062+14,84307j
60%	12,12	3,765474+17,806006j
70%	14,14	4,392886+20,768942j
80%	16,16	5,020298+23,731878j
90%	18,18	5,64771+26,694814j
100%	20,2	6,275122+29,65775j

2. Perhitungan Arus hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa

Contoh perhitungan menggunakan data pada jarak 10% dari panjang penghantar.

Dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

- a. Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa Perhitungan ini menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
 I_{SC3\phi} &= \frac{E_{fasa}}{Z_{1ek} + Z_{faul}} \\
 &= \frac{150000\sqrt{3}}{0,174 + j1,7739} \\
 &= \frac{150000\sqrt{3}}{1,7824} \\
 &= 238370.A
 \end{aligned}$$

- b. Perhitungan arus hubung singkat 2 fasa Perhitungan ini menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
 I_{SC2\phi} &= \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{SC3\phi} \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2} \times 238370.A \\
 &= 206430.A
 \end{aligned}$$

Perhitungan ini menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{SC1\phi} &= \frac{3 \times E_{fasa}}{2Z_{1ek} + Z_{0ek} + 3Z_{faul}} \\
 &= \frac{3 \times 150000\sqrt{3}}{0,09162 + j1.3723 + 3(0,6284 + j2,99)} \\
 &= \frac{779,42}{7,420} \\
 &= 105040.A
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Arus Hubung singkat

% Panjang	Jarak (kms)	Arus hubung Singkat (kA)		
		3 fasa	2 fasa	1 fasa
10%	2,02	238,04	206,15	105,04
20%	4,04	92,037	79,71	74,65
30%	6,06	64,80	56,12	57,88
40%	8,08	50,01	43,30	47,26
50%	10,1	40,70	35,25	39,93
60%	12,12	34,32	29,72	34,57
70%	14,14	29,67	25,70	30,48
80%	16,16	26,12	22,63	27,25
90%	18,18	23,34	20,22	24,64
100%	20,2	21,09	18,27	22,49

5. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pembahasan studi kasus maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai arus setting untuk relai arus lebih yang semula 720 A menjadi 1920 A pada sisi primer 150kV perubahan arus setting ini berpengaruh dalam nilai setting waktu TMS (*Time Multiplier*

Setting) nya 0,45 SI (*Standart Inverse*) menjadi 0,403 SI. Perubahan nilai arus setting gangguan fasa ke tanah yang 120 A menjadi 320 A pada sisi primer 150kV dengan waktu kerja 0,72 SI dan 0,738 SI, setelah dilakukan setting ulang waktu kerja gangguan menjadi lebih lama dikarenakan konduktor baru mampu menahan arus yang lebih besar daripada konduktor lama. Nilai impedansi ekuivalen juga berubah untuk nilai total urutan positifnya menjadi $1.6625+12.2965j \Omega$, impedansi urutan negatif $1.6625+12.2965j \Omega$ dan untuk urutan nol $1.65842+11.75236j \Omega$, dari perubahan impedansi ini mempengaruhi nilai arus hubung singkatnya yang menjadi menyebabkan waktu bekerja relai juga berubah menjadi lebih lambat oleh karena itu dilakukan setting ulang relai pada Bay Mranggen 2 di GI Ungaran.

2. Proteksi utama di penghantar berupa relai distance (jarak) disetting agar bekerja lebih dahulu daripada proteksi cadangan berupa OCR (*Over Current Relay*) dan GFR (*Ground Fault Relay*). Waktu kerja pemutusan relai jarak $z1=0$ detik, $z2=0,4$ detik dan $z3=1,6$ detik, waktu kerja proteksi cadangan dan utama tidak boleh saling berpotongan dikarenakan bisa terjadi

malfungsi, dan proteksi cadangan dapat bekerja jika proteksi utama gagal bekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Billy Pratama Putra Jadmiko*) , Agung Nugroho , dan Hermawan, (2017) Analisis Koordinasi Resetting Relay Ocr, Gfr Dan Recloser Pasca Uprating Transformator Tenaga Pada Gardu Induk 150 Kv Mojosoongo Boyolali
- Indra Gunawan1 , Wayan Rinas2 , I Gusti Ngurah Janardana, (2018) Analisa Resetting Over Current Relay Dan Ground Fault Relay Pada Trafo 60 Mva 150/20 Kv Dan Penyulang 20 Kv Gardu Induk Padang Sambian
- Ilham fahmi huda(UMS), (2018) Analisis Penggunaan Rele Jarak Sebagai Proteksi Pada Sistem Transmisi Dari Gardu Induk 150 Kv Gondangrejo-Jajar
- Karyana(PT.PLN(Persero) (2013) Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali. Jakarta: PT.PLN (Persero).
- Kelompok Bidang Transmisi Standarisasi dengan Surat Keputusan Direksi PT PLN (Persero). 2006. Pola Proteksi

- Saluran Transmisi Bagian I. Jakarta : PT. PLN (Persero) Kantor Pusat
- Nugraha, Rully (2010). Analisis Perhitungan Rele Jarak Pada SUTT 150 kV Cigelereng-Lagadar. Teknik Elektro. Institut Teknologi Nasional, Bandung. Indonesia
- Rahman(UNISSULA), K. (2019) Analisa Resetting Relai Arus Lebih. Semarang.
- Syamsudin, Z., Pujotomo, I. and Ramadhan, F. D. (2015) ‘Kajian Rele Jarak Dan Arus Lebih Pada Sada Saluran Udara Tegangan Tinggi Gardu Induk 150kv Sron dol’, 5(1), Pp. 1–7.
- SPLN T5.002. 2021. Pola Proteksi Saluran Transmisi. Jakarta : PT. PLN (Persero)
- SKDIR 520. 2014. Buku Pedoman Proteksi dan Kontrol Transformator. Jakarta : PT. PLN (Persero)
- Pandjaitan, Bonar. 1998. Teknologi Pengendalian Sistim Tenaga Listrik Berbasis SCADA. Jakarta: Prehalindo
- Pandjaitan, Bonar. 2012. Praktik – praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta : Penerbit ANDI
- S. S. Wibowo.2018. Analisa Sistem Tenaga. Malang : POLINEMA PRESS
- Tim Pusdiklat (Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT.PLN (Persero)). 2013. Analisa dan Proteksi Gardu Induk. Jakarta: PT. PLN (Persero)
- Tim Pusdiklat (Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT.PLN (Persero)). 2013. Filosofi Proteksi Transmisi. Jakarta: PT. PLN (Persero)
- Tim Pusdiklat (Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT.PLN (Persero)). 2013. Pemeliharaan Proteksi GI. Jakarta: PT. PLN (Persero)
- Tobing, Cristof Naek Halomoan. (2008). Rele Jarak Sebagai Proteksi Saluran Transmisi. Depok.Departemen Elektro FakultasTeknik. Universitas Indonesia.
- PT PLN (PERSERO), (2013) Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali Edisi Pertama : September.