

p.ISSN 2303-212X
e.ISSN 2503-5398

Jurnal DESIMINASI TEKNOLOGI



Diterbitkan Oleh :
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TRIDINANTI PALEMBANG

JURNAL
DESIMINASI TEKNOLOGI

VOL. 8

NOMOR 1

HAL.: 1 - 89

JANUARI 2020

JURNAL DESIMINASI TEKNOLOGI

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TRIDINANTI PALEMBANG

VOLUME 8 No. 1

p-ISSN 2303-212X

e-ISSN 2503-5398

Januari 2020

DAFTAR ISI

Halaman

**PENGARUH JENIS MATERIAL ELEKTRODA LAS KAMPUH K TERHADAP
KEKERASAN DAN UJI TARIK PADA BAJA KARBON RENDAH ASTM A36**

Togar PO Sianipar, Martin Luther King (Dosen Tek. Mesin UTP)..... 1–7

**PENGARUH PEMAKAIAN SEMEN DAN PASIR YANG
BERBEDA TERHADAP KUAT TEKAN BETON**

Indra Syahrul Fuad, Andika Perwira, Heru Jayusman (Dosen Tek. Sipil UTP)..... 8–12

**ANALISA KRAKTERISTIK MEKANISME KERJA MESIN KENDARAAN BERMOTOR
ATAS PEMANFAATAN BENTUK LAIN BAHAN BAKAR YANG TERSIMPAN
DI DALAM TANGKI GAS LPG DENGAN PREMIUM**

Martin Luther King, M. Ali, Sukarmansyah, Hermanto Ali (Dosen Tek. Mesin UTP)..... 13 – 23

**PENERAPAN OVER CURRENT RELAY (OCR) KOPEL 20 KV
DI GARDU INDUK BOOMBARU**

Gilang Ramadhan, Yuslan Basir, Dyah Utari Y.W (Dosen Tek. Elektro UTP)..... 24 – 33

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT PENERING LADA
DENGAN PUTARAN DRUM BERVARIASI**

Iskandar Husin, Martin Luther King, Iskandar Badil (Dosen Tek. Mesin UTP)..... 34 – 40

**EVALUASI KINERJA PELAYANAN ANGKUTAN KOTA TRAYEK AMPERA – KM 5
KOTA PALEMBANG**

Zuul Fitriana Umari, Reni Andayani, Aidil Irham (Dosen Tek. Sipil UTP) 41 – 49

**PEMBUATAN DAN PERANCANGAN ALAT PENGURAI SABUT KELAPA
SECARA MANUAL**

Rita Maria Veranika, M. Amin Fauzie, Sukarmansyah, Jumahat (Dosen Tek. Mesin UTP)..... 50 – 61

**ANALISIS PENGARUH TINGKAT PENGETAHUAN DAN SIKAP MASYARAKAT
TERHADAP PENGELOLAAN SAMPAH DI BANK SAMPAH INDUK SEBIMBING
SEKUNDANG DI DESA TANJUNG BARU KEC. BATURAJA TIMUR KAB. OKU**

Okta Ayu Ningtias, Yuliantini Eka Putri (Dosen Tek. Sipil Univ. Baturaja)..... 62 – 69

**ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM DAN KONSEP PRODUKTIVITAS
PADA INDUSTRI MANUFaktur DAN JASA**

Zulkarnain Fatoni (Dosen Tek. Mesin UTP)..... 70 – 75

**DURABILITAS CAMPURAN ASPAL AC-BC
TERHADAP PERUBAHAN SUHU**

Bazar Asmawi (Dosen Tek. Sipil UTP)..... 76 – 89

PRAKATA

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, atas berkah dan rahmat-Nya sehingga jurnal ilmiah *Desiminasi Teknologi* dapat dikenal pada lingkungan Fakultas Teknik dan civitas akademika teknik di seluruh Indonesia.

Jurnal *Desiminasi Teknologi* disusun dari berbagai penelitian dan kajian dosen dan atau mahasiswa internal Fakultas Teknik UTP dan dosen atau mahasiswa dari fakultas Teknik di luar Universitas Tridinanti Palembang yang memiliki penelitian untuk dipublikasikan. Jurnal ini terdiri dari berbagai rumpun ilmu teknik, diantaranya: Teknik Sipil, Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Industri, Arsitektur dan teknik lainnya.

Pada edisi kali ini, Jurnal Desiminasi Teknologi telah memasuki terbitan Volume 8 Nomor 1 edisi Januari 2020, dan kami beritahukan juga bahwa Jurnal Desiminasi Teknologi telah terdaftar secara elektronik dengan nomor e.ISSN 2503-5398.

Segala kritik dan saran yang bersifat membangun, sangat kami harapkan untuk perbaikan penulisan jurnal ini di masa mendatang dan kepada semua pihak yang ikut terlibat dalam proses penerbitan jurnal ini, kami ucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya.

Palembang, Januari 2020

Redaksi

PENERAPAN OVER CURRENT RELAY (OCR) KOPEL 20 KV DI GARDU INDUK BOOMBARU

Gilang Ramadhan⁹, Yuslan Basir¹⁰, Dyah Utari Y.W¹¹

E-mail : yuslan@univ-tridianti.ac.id

Abstrak: PMT kopel 20 kV adalah suatu hal yang penting pada sistem 20 kV di GI Boombaru yang berfungsi untuk penggabungan beban pada penyulang di sistem 20 kV sehingga diperlukannya sistem proteksi yang handal dalam kinerjanya yaitu Over Current Relay (OCR). Relay OCR pada kopel diharapkan dapat menghindari dari gangguan hubung singkat pada sistem 20 kV penyulang ataupun beban lebih. Relay ini bekerja dengan cara membandingkan arus yang terbaca dengan nilai setinganya, bila arus yang dibaca lebih besar dari pada nilai setingan maka relay akan menge-trip-kan Pemutus Tenaga (PMT) atau circuit breaker (CB) setelah waktu tertentu. Dari hasil perhitungan OCR PMT kopel 20 kV dengan kopel penyulang selisih waktu $t_{ms} = 0,08$ SI, dan waktu kerja $t = 0,2$ s. Untuk waktu kerja rele terhadap OCR penyulang dan incoming dimana waktu kerja incoming yaitu : $t_{set\ penyulang} < t_{set\ inc}$, maka $t_{set\ inc} = 0,4 + t_{set\ penyulang} = 0,4 + 0,3 = 0,7$ detik, penyulang 0,3 detik dan PMT kopel 20 kV 0,4 detik. Waktu kerja OCR PMT 20 kV berada di tengah antara penyulang dan incoming.

Kata kunci: sistem proteksi, arus hubung singkat, relai arus lebih, setting relai, PMT kopel 20 kV

Abstract: Coupling PMT 20 kV is an important thing on 20 kV electricity system in Boombaru Substations which functioning for merging the load on 20 kV feeders in the system so that its necessary protection system that is reliable in performance which is Over Current Relay (OCR). The OCR relay on the coupling is expected to avoid short circuit interference in the system of 20 kV feeders or over loads. This relay works by comparing the read current setting value, if the current read is greater than the value of the setting, the relay will be pulled-trip the breaker-Power (PMT) or circuit breaker (CB) after a certain time. From the calculation of the PMT OCR coupling with coupling 20 kV feeders t_{ms} time difference = 0.08 SI, and working time $t = 0.2$ s. For working time relay to OCR and incoming feeders where working time incoming namely: $t_{set\ feeders} < t_{set\ inc}$, then $t_{set\ inc} = 0.4 + t_{set\ feeder} = 0.4 + 0.3 = 0.7$ sec, 0.3 sec feeders and PMT coupling 20 kV 0.4 seconds. Working time OCR PMT 20 kV are in the middle between the feeder and incoming.

Keywords: system protection, short circuit current, over current relay, relay settings, PMT coupling 20 kV

⁹ Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti Palembang

^{10,11} Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tridianti Palembang

PENDAHULUAN

PMT kopel 20 kV adalah suatu hal yang penting pada sistem 20 kV di GI Boombaru yang berfungsi untuk penggabungan beban ataupun beban pada penyulang di sistem 20 kV sehingga diperlukannya sistem proteksi yang handal dalam kinerjanya yaitu Over Current Relay (OCR). Relay OCR pada kopel diharapkan dapat menghindari dari gangguan hubung singkat pada sistem 20 kV penyulang ataupun beban lebih.

Over Current Relay di kopel 20 kV merupakan sistem proteksi beban lebih antara

transformator I dan transformator II, dapat juga sebagai back up proteksi penyulang 20 kV. Oleh sebab itu juga diperlukannya penyetelan OCR pada kopel 20 kV. Relay ini bekerja dengan cara membandingkan arus yang terbaca dengan nilai setinganya, bila arus yang dibaca lebih besar dari pada nilai setingan maka relay akan menge-trip-kan Pemutus Tenaga (PMT) atau circuit breaker (CB) setelah waktu tertentu.

Pada Gardu Induk Boombaru dahulunya PMT yang digunakan sebagai kopel 20 kV adalah dua unit kubikel PMT spare (cadangan) penyulang, di karenakan sifatnya

yang penting dan sementara. Transformator yang dikopel pada GI Boombaru adalah transformator 30 MVA I dengan transformator 30 MVA II. PMT kubikel penyulang, pada saat di kopel kedua penyulang harus tetap beroperasi karena penggunaan dua PMT kubikel ini maka PT. PLN Persero P3B Sumatera melakukan pengadaan PMT kopel 20 kV. Sehingga saat ini PMT kopel 20 kV telah terpasang pada Gardu Induk Boombaru. Namun PMT kopel ini belum diseting.

TINJAUAN PUSTAKA

SISTEM PROTEKSI

Sistem Proteksi yaitu Sekelompok alat pengaman yang terdiri atas CT/PT, relai, CB, catu daya dan wiring serta teleproteksi jika diperlukan yang membentuk suatu pola pengaman. Maksud dan tujuan pemasangan Relai proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar.

Perangkat Sistem Proteksi.

1. Relai,
2. Trafo arus dan/atau trafo tegangan
3. Pemutus Tenaga (PMT)
4. Baterai beserta alat pengisi (*baterai charger*).
5. Pengawatan (wiring) yang terdiri dari sirkit sekunder (arus dan/atau tegangan), sirkit tripping dan sirkit peralatan bantu

Proteksi arus lebih.

Merupakan Over current Relay (OCR) digunakan sebagai pengaman pada trafo tenaga bila beban pada sisi sekunder mempunyai beban diatas kapasitas arus dari trafo atau berfungsi mengamankan trafo dari gangguan hubung singkat antar fasa didalam maupun diluar daerah pengaman trafo. Juga diharapkan relai ini mempunyai sifat komplementer dengan rele beban lebih. Rele ini berfungsi pula sebagai pengaman cadangan bagi bagian instalasi lainnya.

Relai arus lebih berfungsi sebagai :

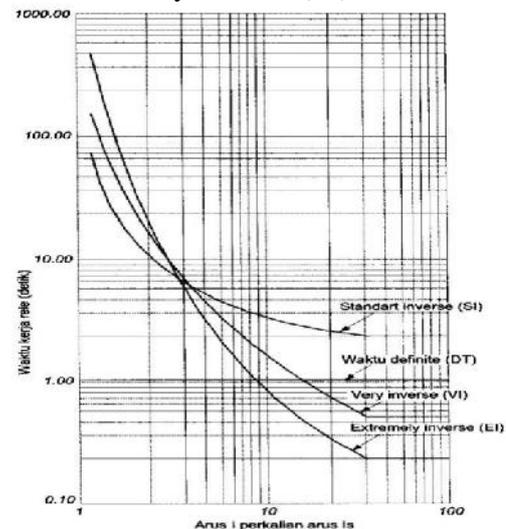
- Pengaman gangguan hubung singkat antar fasa maupun fasa ke tanah
- Pengaman beban lebih
- Pengaman utama atau cadangan

a. Rele Arus Lebih dengan Waktu Terbalik (*inverse time overcurrent relay*)

Rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik adalah karakteristik yang grafiknya terbalik antara arus dan waktu . dimana makin besar arus makin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka pemutus tenaga (PMT).

Jenis karakteristik inverse rele dengan waktu terbalik dapat dibedakan menjadi :

- Long Time Inverse (LTI)
- Standard Inverse (SI)
- Very Inverse (VI)
- Extremely Inverse (EI)



Gambar 1. Karakteristik Rele Arus Lebih Inverse Time (IEC 60255).

Tabel 2.1 Tabel karakteristik Inverse

Karakteristik	α	
Standard Inverse	0.02	0.14
Very Inverse	1.0	13.5
Extremely Inverse	2.0	80.0
Long Time Inverse	1.0	120.0

b. Rele Arus Lebih Terbalik dan Terbatas Waktu Minimum (*inverse definite minimum time / IDMT*)

Relai ini mempunyai bagian setelan inverse dan definite, sebagai berikut :

- Bagian daerah inverse , yaitu pada daerah ratio If/Iset kecil
- Bagian daerah definite, yaitu pada daerah ratio If/Iset besar

Busbar

Busbar merupakan bagian utama dalam suatu gardu induk yang berfungsi sebagai tempat terhubungnya semua bay yang ada pada gardu induk tersebut, baik bay line maupun bay trafo. Umumnya gardu induk didesain dengan konfigurasi 2 busbar (*double busbar*), namun juga masih terdapat gardu induk yang memiliki satu busbar (*single busbar*).^[3]

PMT kopel bus 20 kV

PMT kopel 20 kV berfungsi sebagai penghubung beban antara rel busbar 1 dan 2 pada sistem 20 kV dan dapat juga digunakan untuk paralel antara dua buah trafo daya. PMT kopel 20 kV memiliki spesifikasi berbeda dengan penyulang 20 kV. Pada PMT kopel 20 kV memiliki kapasitas ratio arus yang lebih besar. Hal ini agar mampu menampung beban yang akan dikopel/ digabung dalam pengoperasiannya PMT kopel 20 kV memiliki kontrol dan proteksi.

Untuk kontrol berfungsi sebagai melepas atau memasukkan PMT secara manual/ otomatis, sedangkan proteksi berfungsi sebagai pengaman terhadap gangguan hubung singkat/ beban lebih. Proteksi pada PMT kopel 20 kV umumnya memakai relai OCR dalam pengoperasiannya.

Studi Hubung Singkat

1. Persamaan Perhitungan Arus Hubung Singkat

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

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
 2. Gangguan hubung singkat 2 fasa, dan
 3. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
- Dari ketiga macam gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus umum (hukum ohm) yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z.

V = Tegangan sumber (Volt).

Z = Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (/km).

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut :

Z untuk gangguan 3 fasa $Z = Z_1$

Z untuk gangguan 2 fasa $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan 1 fasa ke tanah

$Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana :

Z_1 = Impedansi urutan positif 3 fasa

Z_2 = Impedansi urutan negatif 2 fasa

Z_0 = Impedansi urutan nol 1 fasa

1. Persamaan Perhitungan Impedansi sumber
Untuk mencari impedansi sumber atau yang mewakili sumber meliputi

- a. Persamaan Perhitungan $MVA_{short\ circuit}$ (MVA_{SC})

$$MVA_{SC} = I_{SC} \cdot \sqrt{3} \cdot V_{primer} \dots\dots\dots (2)$$

Selanjutnya, menghitung impedansi sumber:

$$X_{sc1} = \frac{(Kv_1)^2}{MVA(sc)} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

X_{sc1} = reaktansi (impedansi) sumber sisi primer (ohm)

$MVA(sc)$ = daya hubung singkat (MVA)

I_{sc} = arus maks yang mewakili pada sisi primer trafo (A)

$$X_{sc2} = \frac{(Kv_2)^2}{(Kv_1)^2} \cdot X_{sc1} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

X_{sc2} = reaktansi (impedansi) sumber sisi sekunder (ohm)

Kv_1 = Tegangan primer trafo (KV)

Kv_2 = Tegangan sekunder trafo (KV)

- b. Reaktansi pada Trafo yang tercantum pada name plate pada trafo tenaga,

Besarnya tergantung kapasitas trafo tenaga dimana $X_{T1} = X_{T2}$ dengan rumus :

$$X_T = \frac{(KV_2)^2}{MVAtrafo} \times \text{impedansi trafo}(\%) \dots (5)$$

Dimana :

- X_T = reaktansi trafo (ohm)
- Impedansi trafo = impedansi pada name plat trafo (%)
- KV_2 = Tegangan sekunder trafo (KV)

2. Impedansi penyulang (jaringan distribusi). Nilai $Z_1 = Z_2$ dan Z_0 sesuai dengan jenis penghantar. [6]

$$Z = \text{Panjang saluran} \times Z \text{ per km} \dots (6)$$

nilai impedansi ekuivalen urutan :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{1S} + Z_{1T} + Z_{1F} \dots (7)$$

Dimana :

- Z_{1eq} = Nilai impedansi ekuivalen urutan positif (ohm/km)
- Z_{2eq} = Nilai impedansi ekuivalen urutan negative (ohm/km)
- Z_{1S} = Nilai impedansi sumber (ohm)
- Z_{1T} = Nilai impedansi trafo (ohm)
- Z_{1F} = Nilai impedansi penyulang (tergantung lokasi gangguan) (ohm)

3. Persamaan Perhitungan arus gangguan 3 fasa dan 2 fasa

Untuk arus gangguan 3 fasa menggunakan rumus

$$I_{f3} \{ = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} = \frac{20000/\sqrt{3}}{Z_{1eq}} \dots (8)$$

Untuk arus gangguan 2 fasa menggunakan rumus

$$I_{f2} \{ = \frac{V_{fasa}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots (9)$$

Dimana :

- I_{f3} { = arus gangguan 3 fasa (Ampere)
- I_{f2} { = arus gangguan 2 fasa (Ampere)
- V_{ph} = Tegangan fasa – netral sytem 20(kV)

Penyetelan Rele Arus Lebih

1. Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Arus

Secara umum Batasan dalam penyetelan arus dapat dituliskan sebagai berikut :

$$I_{max} < I_s < I_{sc} \text{ min}$$

Dimana :

- I_s = Nilai setting arus (ampere)
- I_{max} = Arus beban maksimum yang diizinkan untuk alat yang diamankan, pada umumnya diambil arus nominalnya (In).(ampere)
- $I_{sc} \text{ min}$ = Arus hubung singkat minimum. (ampere)
- Arus setelan primer pada rele arus lebih pada OCR Sesuai british standard untuk
 - Relai Inverse diset sebesar 1,05 s/d 1,3 $\times I_{beban}$
 - Relai Definite diset sebesar 1,2 s/d 1,3 $\times I_{beban}$

Untuk arus setting pada rele menggunakan perhitungan

$$I_{set (sek)} = I_{set (pri)} \times \frac{1}{RatioCT} \dots (10)$$

Dimana :

- $I_{set (sek)}$ = nilai setting arus sekunder rele (Ampere)
- $I_{set (pri)}$ = nilai setting arus primer rele (Ampere)
- RatioCT = Perbandingan Trafo arus terpasang (Ampere)

2. Prinsip Dasar Perhitungan Penyetelan Waktu

Cara penyetelan waktu :

- a. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*)
Untuk rele OLS menggunakan karakteristik waktu tertentu, waktu kerjanya tidak dipengaruhi oleh besarnya arus.
- b. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time*)
Setelan waktu kerja standar inverse didapat dengan menggunakan kurva waktu dan arus.
Secara matematis dapat ditentukan dengan persamaan :

$$tms = \frac{t_{set} \times \left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^r - 1 \right)}{S} \dots (11)$$

$$t = \frac{S}{\left(\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right)^r - 1 \right)} tms \dots (12)$$

Dimana :

t_{ms} = factor pengali terhadap waktu

I_{fault} = Arus gangguan (Ampere)

I_{set} = Arus setting (Ampere)

t_{set} = Waktu setting (detik)

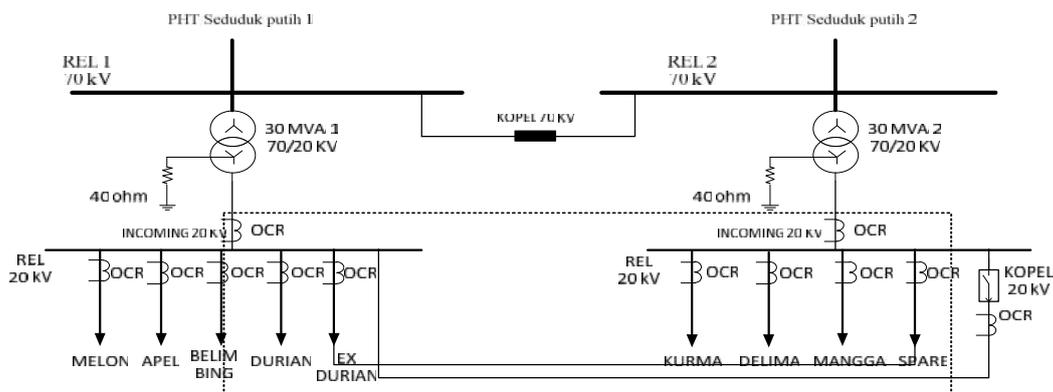
dan = konstanta

t = waktu trip nya relai (detik)

T_{ms} (Time Multiplier Setting) merupakan pengali waktu untuk penyetelan relai arus lebih (OCR) satuannya bukan detik namun satuannya berdasarkan setelan inverse.

Persyaratan lain yang harus dipenuhi Penyetelan waktu minimum untuk Relai arus lebih (terutama di penyulang) tidak lebih kecil dari 0,3 detik, pertimbangan ini diambil agar relai tidak sampai trip lagi, akibat arus inrush current dari transformator distribusi yang tersambung di jaringan distribusi, sewaktu PMT penyulang dioperasikan yang terpenting adalah menentukan beda waktu () antara dua tingkat pengamanan agar pengamanan selektif atau pola waktu bertingkat (cascading).^[6]

Data Peralatan GI Boombaru



Gambar 2. Single Line Gardu Induk Boombaru

Tabel 1. Data Setelan Relay

No	Daerah Proteksi	Rasio CT	Spesifikasi	Setingan Relay
1	Kopel penyulang	CT 20 kV : 400/1 A	OCR Merk: Scheinder Type: Micom p141	$I_{>} = 480$ A $t_{>} = 0,2$ SI $I_{o>} = 80$ A $t_{o>} = 0,15$ SI
2	Kopel 20 kV	CT 20 kV : 1000/5 A	OCR Merk: Scheinder Type: Micom p122	

Tabel 2. Data Transformator daya 30 MVA 2

Data	TD 30 MVA 2 GI Boombaru		
Kapasitas	30 MVA	I_{sc}	HV = 2,5 KA , LV = 14,4 KA
Tegangan	70/20	Tahun	1993
Impedansi	11,7 %	Vector	YNyn0 (d11)
Nominal arus HV	247 A	Type	SDOR 30000/72,5 /ONAN
Nominal arus LV	866 A		

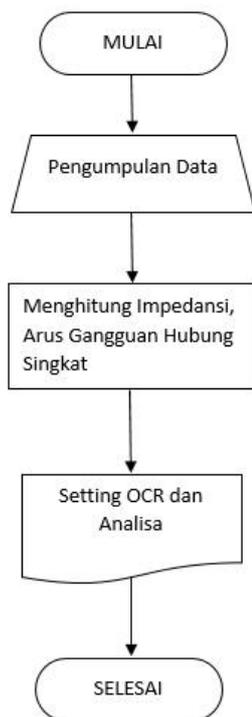
Tabel 3. Data Beban Tertinggi Bulan Februari 2015
Transformator GI BoomBaru

TRANSFORMATOR DAYA 70/20 KV							
TRAFO 30 MVA 1				TRAFO 30 MVA 2			
SIANG							
JAM	A	KV	MW	JAM	A	KV	MW
13.00	511	20	16.7	14.00	431	20	13.8
TRANSFORMATOR DAYA 70/20 KV							
TRAFO 30 MVA 1				TRAFO 30 MVA 2			
MALAM							
JAM	A	KV	MW	JAM	A	KV	MW
18.00	427	20	13.9	19.00	400	20	13

Nilai impedansi pada kabel
NA2XSY 240 mm² ,
Z₁ = 0,1250+j0,097 /km
Z₀ = 0,2750+j0,290 /km

HASIL DAN PEMBAHASAN

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 3. Flowchart Perhitungan Arus Hubung Singkat dan Setting OCR

1. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

a. Perhitungan Impedansi Sumber

Untuk sisi 70 KV
(I_{SC}) sisi 70 KV = 2,5 KA (dari data transformator) dengan menggunakan persamaan 2 didapat nilai,
MVA_{SC} = 2,5 x 1,732 x 70 = 303,1 MVA

Selanjutnya dengan persamaan 3 didapat nilai,

$$X_{sc} = \frac{(70)^2}{303,1} = 16,16$$

Untuk sisi 20 KV , menggunakan persamaan 4

$$X_{sc2} = \frac{(20)^2}{(70)^2} \times 16,16 = 1,32$$

b. Perhitungan Impedansi Transformator

Diketahui reaktansi Trafo pada name plate sebesar 11,7%

Untuk menghitung nilai Impedansi dasar pada trafo sisi 20 KV,dengan persamaan 5, maka nilai

$$X_T = \frac{(20)^2}{30} \times 11,7\% = 1,56$$

Reaktansi $X_T = X_{T1} = X_{T2}$ yaitu reaktansi positif (X_{T1}) dan reaktansi negatif (X_{T2}) = 1,56

c. Perhitungan Impedansi saluran

Kopel Bus 20 kV

Untuk menghitung nilai Impedansi saluran, dengan persamaan 6

- SKTM 240 mm², panjang 0,010 km
- $Z_{1F} = Z_{2F} = 0,01 \times (0,1250 + j0,097) \text{ /km}$
 $= 0,00125 + j0,00097$
- $Z_{L0} = 0,01 \times (0,2750 + j0,290) \text{ /km}$
 $= 0,00275 + j0,0029$
- Jadi total impedansi kopel baru
 $= \mathbf{0,00125 + j0,00097}$

Kopel penyulang spare

- SKTM 240 mm², panjang 0,015 km
- $Z_{1F} = Z_{2F} = 0,015 \times (0,1250 + j0,097) \text{ /km}$
 $= 0,001875 + j0,001455$
- $Z_{L0} = 0,015 \times (0,2750 + j0,290) \text{ /km}$
 $= 0,004125 + j0,00435$
- Jadi total impedansi kopel penyulang
 $= \mathbf{0,001875 + j0,001455}$

2. Perhitungan gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa

Pada perhitungan arus gangguan hubung singkat tersebut, diperlukan Nilai impedansi total yaitu $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, selanjutnya dihitung arus gangguan tiap penyulang.

Diketahui :

$$Z_{1S} = j1,32 \text{ ohm}, Z_{1T} = j1,56 \text{ ohm},$$

Untuk Kopel 20 kV

Gangguan Tiga Fasa (3 {)

- Diketahui total impedansi kopel baru :

$$Z_{1F} = Z_{2F} = 0,00125 + j0,00097 \text{ ohm}$$

- Untuk menghitung nilai impedansi ekivalen urutan digunakan persamaan 7

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{1S} + Z_{1T} + Z_{1F}$$

$$Z_{1eq} = (j1,32) + (j1,56) + (0,00125 + j0,00097)$$

$$= 0,00125 + j 2,880 \text{ ohm}$$

$$Z_{2eq} = Z_{1eq} = 0,00125 + j 2,880 \text{ ohm}$$

$$= \mathbf{2,881 \text{ ohm}}$$

-Untuk menghitung arus gangguan 3 fasa dan 2 fasa menggunakan 8 dan 9 dengan rumus

$$I_{f3} \{ = \frac{20000/\sqrt{3}}{2,881} = 4007,9 \text{ A} = \mathbf{4 \text{ KA}}$$

Gangguan Dua Fasa (2 {)

$$I_{f2} \{ = \frac{20000}{2 \times 2,881} = 3471,01 \text{ A} = \mathbf{3,4 \text{ KA}}$$

Untuk Kopel Penyulang Spare

Gangguan Tiga Fasa (3 {)

$$Z_{1F} = Z_{2F} = 0,001875 + j 0,001455 \text{ ohm}$$

$$Z_{1eq} = (j1,32) + (j1,56) + (0,001875 + j0,001455)$$

$$= 0,001875 + j 2,881 \text{ ohm}$$

$$Z_{2eq} = Z_{1eq} = 0,001875 + j 2,881 \text{ ohm}$$

$$= \mathbf{2,882 \text{ ohm}}$$

$$I_{f3} \{ = \frac{20000/\sqrt{3}}{2,882} = 4006,5 \text{ A} = \mathbf{4 \text{ KA}}$$

Gangguan Dua Fasa (2 {)

$$I_{f2} \{ = \frac{20000}{2 \times 2,882} = 3469,8 \text{ A} = \mathbf{3,4 \text{ KA}}$$

3. Setting Relai Arus Lebih (OCR)

Setting OCR Kopel 20 kV

a. Setting Arus

Diketahui : Ratio C.T = 1000 /5 A, $I_{beban} = 500 \text{ A}$ (untuk beban kopel kedepan) dengan karakteristik standar inverse,

$$I \text{ set (primer)} = 1,05 \times I_{beban}$$

$$= 1,05 \times 500 = \mathbf{525 \text{ A}}$$

Untuk nilai setelan ke relai arus lebih menggunakan persamaan 10, maka

$$I \text{ set (sek)} = 500 \times \frac{5}{1000} = \mathbf{2,625 \text{ A}}$$

b. Setting Waktu

Diketahui :

$I_F = 4007,9 \text{ A}$, $t = 0,4 \text{ detik}$, $I \text{ set (primer)} = \mathbf{525 \text{ A}}$. maka untuk menghitung nilai tmsnya menggunakan persamaan 11

$$tms = \frac{0,4 \times \left(\left(\frac{4007,9}{525} \right)^{0,02} - 1 \right)}{0,14} =$$

$\mathbf{0,12 \text{ SI (satuan standar inverse)}}$

Untuk menghitung waktu trip nya relai menggunakan persamaan 12
 Diketahui, $I_F = 4007,9 \text{ A}$, $t_{ms} = 0,1 \text{ SI}$, I_{set} (primer) = 525A

$$t = \frac{0,14 \times 0,12}{\left(\frac{4007,9}{525}\right)^{0,02} - 1} = \mathbf{0,4049}$$

Adapun Hasil perhitungan diatas, untuk perhitungan waktu kerja kopel 20 kV (kopel baru) 525 A, kedalam tabel seperti dibawah ini :

Tabel 4. Perencanaan Setting OCR PMT Kopel 20 kV

Kopel 20 kV Hasil perhitungan (Iset = 525 A, tms = 0,12(SI))	
Arus gangguan If (A)	Waktu kerja t (s)
4007,9	0,405
3860,61	0,413
3694,98	0,422
3552,1	0,431
3418,07	0,44
3292,29	0,449
3174,21	0,459
3063,28	0,468
2958,97	0,477
2860,81	0,487
2768,33	0,497
2500	0,53
2000	0,62
1500	0,792
1000	1,295

Setting OCR Kopel Penyulang

Pada data setelan relay GI Boombaru diketahui pada kopel penyulang sebagai berikut:

I_{set} (primer) = **480 A**

Untuk nilai setelan ke relai arus lebih menggunakan persamaan 3.24, maka

$$I_{set} \text{ (sek)} = 480 \times \frac{1}{400} = \mathbf{1,2 \text{ A}}$$

maka untuk nilai tmsnya pada data setelan relay proteksi Gardu induk Boombaru sebagai berikut :

Tms : **0,2 SI** (Satuan Inverse)

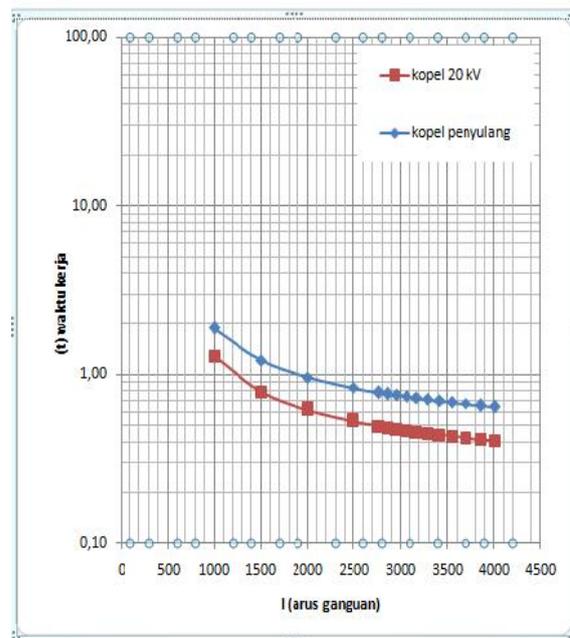
Diketahui, $I_F = 4006,5 \text{ A}$, $t_{ms} = 0,2 \text{ SI}$, I_{set} (primer) = 480 A

$$t = \frac{0,14 \times 0,2}{\left(\frac{4006,5}{480}\right)^{0,02} - 1} = \mathbf{0,6459 \text{ s}}$$

Iset PLN untuk kopel penyulang 480 A kedalam tabel dan grafik seperti dibawah ini :

Tabel 5. Data relay OCR dan hasil perhitungan

Kopel penyulang Setting PLN (Iset = 480 A, tms = 0,2 (SI))	
Arus gangguan If (A)	Waktu kerja t (s)
4006,5	0,6459
3860,61	0,6576
3694,98	0,6721
3552,1	0,6856
3418,07	0,6993
3292,29	0,7132
3174,21	0,7272
3063,28	0,7414
2958,97	0,7558
2860,81	0,7704
2768,33	0,7851
2500	0,8341
2000	0,9671
1500	1,2147
1000	1,8935



Gambar 4. Grafik OCR Kopel 20 kV dan Kopel Penyulang

Agar waktu kerja rele antara kopel 20 kV ,penyulang dan incoming tidak bersamaan trip maka waktu setting nya dikoordinasikan dengan settingan waktu Incoming 20 KV dan penyulang untuk selektifitas ,dimana waktu kerja incoming yaitu:

$t_{set} \text{ penyulang} < t_{set} \text{ inc}$, maka $t_{set} \text{ inc} = 0,4 + t_{set} \text{ penyulang} = 0,4 + 0,3 = 0,7 \text{ detik}$, penyulang 0,3 detik dan kopel baru $t_{set} = 0,4 \text{ detik}$. karena persyaratan yang harus di penuhi

dalam penyetelan relai terutama di penyulang maka waktu kerja penyulang tidak lebih kecil dari 0,3 detik.

4. Analisa

Analisa Terhadap Gangguan

Pada arus gangguan antara kopel baru dan kopel penyulang spare tidak terlalu berbeda dimana arus gangguan pada kopel 20 kV 4007,9 A = 4 KA dan kopel penyulang 4006,5 A = 4 KA, ini di karenakan pada kabel penghantar kopel memakai penghantar yang sama dan jarak nya tidak terlalu jauh hanya berjarak 5 meter dan nilai impedansi penghantar yang dipakai ialah : $NA2XSY\ 240\ mm^2$, $Z_1 = 0,1250 + j0,097\ /km$

Analisa Setingan dan Grafik

Berdasarkan tabel hasil perhitungan terdapat perbedaan dari hasil perhitungan waktu kerja OCR PMT kopel 20 kV lebih cepat daripada OCR kopel penyulang, hal ini di sebabkan perbedaan I_{set} dan t_{ms} pada PMT kopel dan kopel penyulang. Pada tabel 4.1 dapat di lihat $I_{set} = 525\ t_{ms} = 0,12$ untuk kopel 20 kV ,untuk settingan pada kopel penyulang $I_{set} = 480\ A\ t_{ms} = 0,2$. Iset primer pada perhitungan kopel baru 20 KV hanya sebesar $I_{set}\ (primer) = 1,05 \times I_{beban} = 1,05 \times 500 = 525\ A$, sedangkan pada nameplate kopel baru Ratio C.T = 1000 /5 A. Hal ini mengingat kapasitas transformator daya 30 MVA 2 pada Gardu Induk Boombaru hanya 866 A maka Iset primer tidak melebihi dari kapasitas transformator agar transformator tidak sampai overload karena beban pada saat di kopel yang melebihi transformator.

Untuk perbandingan Grafik OCR PMT kopel 20 kV dan kopel penyulang dengan karakteristik Rele Arus Lebih inverse time IEC60255 lebih cepat dari standar karakteristik di karenakan perbedaan skala t_{ms} pada karakteristik standar inverse menetapkan nilai Skala $t_{ms} = 1$, sedangkan pada PMT kopel 20 kV nilai $t_{ms} = 0,12\ SI$ pada kopel penyulang spare 0,2. Perbandingan pada grafik hanya untuk menentukan setingan OCR PMT kopel 20 kV.

Analisa Waktu Kerja Rele

Untuk cara kerja rele pada PMT kopel bus 20 kV ataupun Kopel dari penyulang tidak berbeda sebagai proteksi terhadap arus gangguan hubung singkat ataupun beban lebih karena pada dasar nya rele arus lebih dengan karakteristik inverse time dimana arus dan waku berbanding terbalik, makin besar arus semakin kecil waktu yang di dibutuhkan untuk mengetriapkan PMT. Adapun waktu kerja rele terhadap OCR penyulang dan incoming agar tidak bersamaan trip, maka t_{set} kopel baru berada di tengah antara penyulang dan incoming tidak lebih cepat dari penyulang dan tidak lebih lama dari incoming ,dimana waktu kerja incoming yaitu: $t_{set\ penyulang} < t_{set\ inc}$, maka $t_{set\ inc} = 0,4 + t_{set\ penyulang} = 0,4 + 0,3 = 0,7$ detik, penyulang 0,3 detik dan PMT kopel 20 kV $t_{set} = 0,4$ detik. Sedangkan pada kopel penyulange t_{set} nya 0,6 detik , t_{set} kopel penyulang hampir mendekati t_{set} incoming. Hal ini dapat mengakibatkan trip bersamaan antara kopel penyulang spare dan incoming.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa didapat dari hasil perhitungan dan analisa ini adalah sebagai berikut:

1. Penyetelan Relai arus lebih (OCR) pada PMT kopel 20 kV dan penyulang spare ialah : Pada kopel 20 kV Iset = 525 A, $t_{ms} = 0,12\ SI$ $t = 0,4049$, untuk kopel penyulang spare Iset PLN = 480 A, $t_{ms} = 0,2\ SI$, $t = 0,6459$.
2. Untuk waktu kerja rele terhadap OCR penyulang dan incoming dimana waktu kerja incoming yaitu :

$t_{set\ penyulang} < t_{set\ inc}$, maka $t_{set\ inc} = 0,4 + t_{set\ penyulang} = 0,4 + 0,3 = 0,7$ detik, penyulang 0,3 detik dan PMT kopel 20 kV 0,4 detik. Waktu kerja OCR PMT 20 kV berada di tengah antara penyulang dan incoming.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] a-noname, *materi diklat pengenalan sistem proteksi ganrdu induk Relai Arus lebih (OCR/GFR)*, PT.PLN (persero) P3B Sumatera

- bidang transmisi
proteksi, Padang, 2008.
- [2] a-noname, *Proteksi dan kontrol transformator*, PT.PLN (persero) Jasa pendidikan dan Pelatihan, Padang, 2012.
- [3] a-noname, *proteksi busbar* PT.PLN (persero) P3B Sumatera bidang transmisi proteksi, Padang, 2008
- [4] Pandjaitan Bonar, *Praktik – praktik proteksi sistem tenaga listrik*, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2012.
- [5] Samaulah Hazairin, *Dasar – dasar sistem proteksi tenaga listrik*, Palembang: Unsri, edisi pertama, 2000.
- [6] Sarimun N Wahyudi, *Proteksi sistem distribusi tenaga listrik*, Depok: Garamond, edisi pertama, April 2006.
- [7] Stevenson, jr William D, *Analisis sistem tenaga listrik*, Jakarta: Erlangga, 1983.