

EVALUASI KOORDINASI PEMUTUS (PMT) DENGAN RECLOSER (PBO) PADA PENYULANG 20 KV RAYON WONOGIRI

Dwi Haryadi¹, Dulhadi², Budi Utama³
Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Fakultas Teknologi Industri
Program Studi Teknik Elektro

ABSTRAK

Kurangnya koordinasi antar peralatan proteksi pada JTM 20 kV menyebabkan kerugian, baik dari sisi pelanggan maupun PLN. Kerugian tersebut merupakan dampak gangguan permanen/temporer dan listrik padam. Kegagalan koordinasi PBO dengan PBO atau PMT dengan PBO bisa disebabkan kesalahan setting waktu kerja relay ataupun karena faktor lama penggunaan piranti proteksi, sehingga terjadi pergeseran setingan waktu relay. Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi piranti proteksi dari kesesuaian standar kerja yang ditentukan.

Metode penelitian dengan melakukan pengujian PBO pada penyulang Wonogiri 01. Hasil pengujian dilakukan analisis kinerja piranti yaitu kerja koordinasi antara PBO 1 dengan PBO 2 dan PMT dengan PBO 1. Dengan melakukan pembuatan grafik karakteristik dan memasukkan nilai arus gangguan, maka diketahui kondisi PBO saat ini.

Hasil penelitian disimpulkan bahwa hasil uji peralatan pengaman yang terpasang di sepanjang penyulang WNI 01 dapat bekerja sesuai dengan setingan. PBO bekerja dengan kurva lambat, baik untuk gangguan fasa maupun gangguan tanah dan koordinasi antara PMT dengan PBO masih bekerja dengan baik sampai dengan arus gangguan 2880 Ampere. Gangguan fasa di atas $8 \times I_s$ (3.840 A), relay OCR memberikan perintah PMT untuk bekerja lebih dulu artinya kondisi ini tidak terjadi koordinasi dengan baik.

Kata kunci : Evaluasi PBO, koordinasi PBO dan PMT

EVALUATION OF BREAKER COORDINATION (PMT) WITH RECLOSER (PBO) AT 20 KV FEEDER RAYON WONOGIRI

ABSTRACT

Lack of coordination protection on JTM 20 kV will cause greater losses, the customer and PLN side. These losses are the impact of permanent or temporary disturbances that cause power outages. The failure coordination PBO with PBO or PMT with PBO can be caused by an error in setting the relay. Resulting in a change. This research aims to evaluate the PBO protection of the suitability of the specified work standards.

The method used to test the PBO on the Woonogiri feeder 01. The results of the test are performance analysis of the PBO 1 and PBO 2 and PMT with PBO 1. The characteristic graph and entering the value of the fault current, it can be seen the condition PBO.

The test results can be concluded with testing the safety equipment installed along WNI 01 feeder according to the settings. PBO is works with a slow curve, The phase ground faults and the coordination PMT, PBO still works well up to a fault of 2880 Ampere. The phase faults above $8 \times I_s$ (3,840 A), the OCR gives PMT command to work first, meaning that this condition is not coordinated properly.

Keywords: Evaluation, PBO and PMT coordination

1. PENDAHULUAN

Pemadaman akibat adanya gangguan eksternal pada sistem tak bisa dihindari, tetapi hal ini dapat ditekan seminimal mungkin dengan sistem proteksi yang handal. Sistem proteksi bertujuan untuk mendeteksi terjadinya suatu gangguan dan secepat mungkin mengisolir bagian sistem yang terganggu tersebut agar tidak mempengaruhi keseluruhan sistem.

Salah satu pengamanan pada distribusi primer adalah penggunaan *over current relay* (OCR), relai proteksi ini sangat penting terutama untuk mengatasi terjadinya gangguan hubung singkat. Relai ini memerintahkan pemutus (PMT) untuk trip apabila terjadi gangguan hubung singkat

Kurangnya koordinasi antar peralatan proteksi seperti PMT dengan PBO akan menyebabkan kerugian yang lebih besar, baik dari sisi pelanggan maupun dari sisi PLN. Pernah terjadi pada penyulang Wonogiri 01 (WNI 01) dengan panjang penyulang 16,55 km, gangguan didepan *recloser* WG1-104 tanggal 30 Maret 2021 pada pukul 18.10 WIB, tetapi PMT yang berada di GI. Wonogiri mengalami trip. Sehingga sistem penyaluran energi listrik padam dan trafo I GI. Wonogiri dengan kapasitas 60 MVA tidak tersalurkan.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka berkaitan dengan penulisan skripsi mengambil judul “Evaluasi Koordinasi Pemutus (PMT) Terhadap Recloser (PBO) Pada Penyulang 20 kV Rayon Wonogiri “.

1.1. Kajian Pustaka

Salah satu peralatan yang mempunyai peranan untuk mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik adalah relai pengaman. Relai pengaman untuk sistem tenaga ini melindungi saluran/jaringan dan peralatan listrik terhadap kerusakan dengan cara menghilangkan (mengisolir) gangguan yang terjadi secara cepat dan tepat (Endan Budi Permana, 2021).

Pada dasarnya gangguan adalah setiap keadaan sistem yang tidak normal, sehingga pada umumnya terdiri dari hubung singkat juga rangkaian terbuka. Hal ini bisa terjadi dikarenakan adanya berbagai faktor, baik itu faktor internal maupun faktor eksternal. Gangguan tersebut akan mengakibatkan hilangnya kenormalan penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen baik secara temporer maupun bersifat permanen. Salah satu bentuk gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik adalah gangguan hubung singkat baik gangguan tiga fasa, antar fasa, 1 fasa ke tanah maupun gangguan 2 fasa ke tanah (Jonatan Martino Windi Saputro, 2018).

Hubung singkat satu fasa ke tanah yaitu jalur konduktif yang disengaja atau tidak dalam sistem netral yang dibumikan dengan impedansi antara salah satu sirkit konduktor dan ground. Hubung singkat dua fasa ke tanah yaitu jalur konduktif yang disengaja atau tidak dalam sistem netral yang dibumikan dengan impedansi antara kedua sirkit konduktor dan ground. Gangguan yang terjadi pada semua fasanya yang menyebabkan arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah terjadi gangguan (Endan Budi Permana, Yudi Prana Hikmat, Supriyanto, 2021).

Pada sistem distribusi gangguan yang terjadi dapat dipisahkan menjadi dua bagian yaitu gangguan yang bersifat tetap (*permanent*) dan gangguan yang bersifat sementara (*temporer*) (Novi Gusti Pahiyanti dan Sigit Sukmajati, 2015).

Gangguan arus lebih ditandai dengan terjadinya kenaikan arus pada saluran melebihi arus beban maksimum. Arus lebih ini sendiri terbagi menjadi arus beban lebih dan arus hubung singkat. Arus beban lebih terjadi akibat penambahan beban yang akan menyebabkan kenaikan arus melebihi arus beban maksimum. Kenaikan arus ini tidak terlalu besar sehingga sistem masih bisa bertahan untuk selang waktu yang cukup lama. Sedangkan arus hubung singkat terjadi akibat penurunan kekuatan dasar isolasi dari sistem tenaga (Abdul Azis dan Irine Kartika Febrianti, 2019).

1.2. Dasar Teori

2.2.1. Jaringan distribusi penyulang WNI 01

Sistem jaringan distribusi primer yang diterapkan di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta adalah sistem jaringan 20 KV tiga fasa empat kawat, dengan struktur jaringan radial atau ring terbuka. Sistem ini merupakan sistem yang paling sederhana dibanding dengan struktur

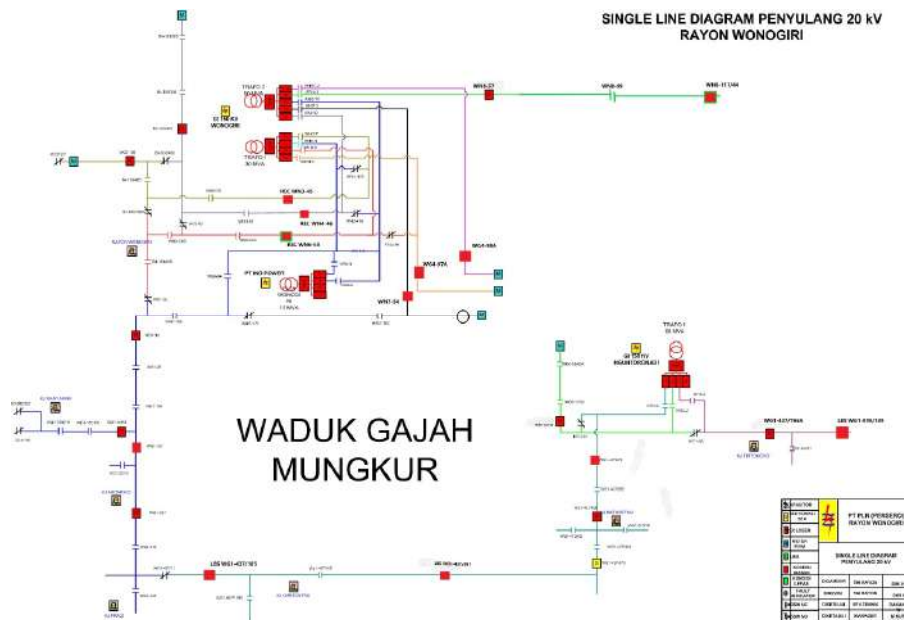
lingkaran atau struktur anyaman, metode operasinya sangat mudah. Namun dari segi keandalan struktur ini kurang andal karena hanya menggunakan satu sumber pengisian sehingga gangguan yang timbul akan mengakibatkan pemadaman dan kerugian yang sangat besar.

Penyulang WNI 01 ini mendapat sumber pengisian dari gardu induk 150 KV Wonogiri, dengan beban rata - rata pada luar waktu beban puncak (LWBP) sekitar 150 A dan pada waktu beban puncak (WBP) 350 A, dengan parameter (perlengkapan) jaringan terpasang seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Perlengkapan jaringan distribusi Tegangan Menengah Penyulang WNI 01

Nama komponen	Panjang	Jumlah
Jaringan tiga fasa	16,55 kms	-
Tiang	-	331 buah
Fuse Cut Out (FCO)	-	78 buah
Air Break Switch	-	17 set
PBO	-	3 Unit
LBS	-	1 Unit
Fault Indikator	-	3 buah
Trafo tiga fasa	-	10 buah
Trafo satu fasa	-	185 buah

Wilayah yang dilayani meliputi Sebagian Kecamatan Wonogiri, Kecamatan Wuryantoro dan sekitarnya, seperti terlihat pada gambar 1 *single line diagram* penyulang WNI 01 (Warna biru).



Gambar 1. *Single line* Diagram Penyulang 20 KV Rayon Wonogiri
Sumber : PT. PLN (Persero) Rayon Wonogiri, 2021

1.2.2. Operasi jaringan

Jaringan harus mampu dioperasikan sedemikian rupa sehingga sedapat mungkin menjamin tidak adanya pemutusan pelayanan dan selain itu memberikan stabilitas tegangan dan frekuensi. Baik itu dalam operasi normal maupun pada saat terjadi gangguan. Khusus mengenai frekuensi pengaturannya dilakukan oleh satuan-satuan pembangkit, sehingga pihak distribusi tidak dapat berbuat apapun. Biasanya pergeseran (variasi) harga frekuensi pelayanan ini kecil sekali dan tidak mengganggu konsumen.

1.2.3. Kelangsungan penyaluran

Faktor-faktor penting yang mempengaruhi kelangsungan penyaluran (kontinuitas) distribusi adalah pengaturan dan pengoperasian jaringan pada waktu ada pekerjaan jaringan dan pada waktu ada gangguan jaringan, sedemikian rupa sehingga pemadaman adalah sekecil mungkin. Selain itu, juga kecepatan melakukan pengalihan beban ke sumber pengisian cadangan dan sekaligus mengisolasi gangguan.

1.2.3.1. Stabilitas tegangan pelayanan

Stabilitas tegangan pelayanan merupakan tanggung jawab PLN, untuk itu harus ditetapkan batas-batas toleransi. Batas-batas toleransi yang berlaku di beberapa negara tidak seragam, tetapi umumnya lebih kecil dari $\pm 10\%$. Di Indonesia diambil batas toleransi $+5\%$ dan -10% .

Tegangan merupakan salah satu parameter jaringan yang sangat penting. Bagi PLN penyimpangan tegangan berakibat naiknya rugi-rugi jaringan sehingga pengusaha jaringan tidak menguntungkan. Sedang bagi konsumen hal itu merupakan pelayanan yang sangat mengganggu.

Dalam upaya menjaga stabilitas tegangan pelayanan pada penyulang WNI 01 yaitu dengan menaikkan/menurunkan tap trafo, perbaikan *jumper*, penyeimbangan beban, rekonduktor.

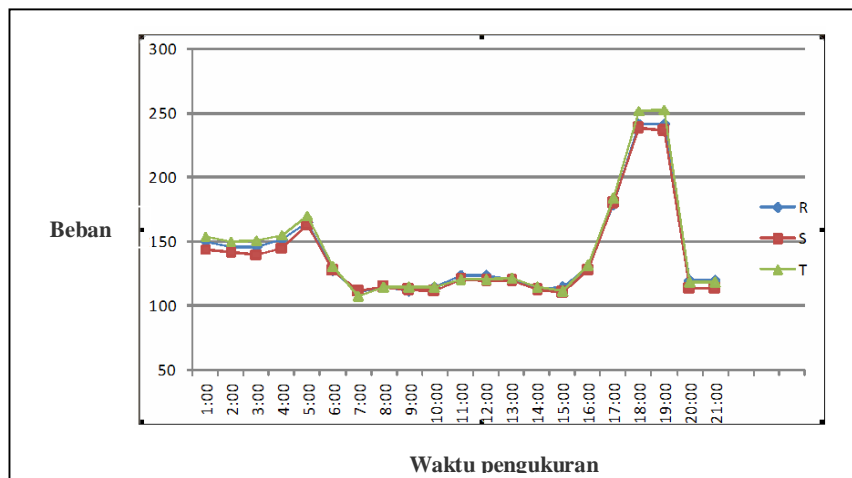
1.2.3.2. Stabilitas frekuensi

Penurunan frekuensi disebabkan misalnya karena berkurangnya secara tiba-tiba persediaan daya pada pusat pembangkit jika terjadi pelepasan mesin-mesin. Sebaliknya jika terjadi hubungan singkat pada jaringan transmisi atau tempat-tempat yang berdekatan dengan mesin pembangkit akan menyebabkan kenaikan frekuensi. Jadi kenaikan atau penurunan frekuensi terjadi karena cepatnya perubahan pembebanan sistem yang besar. Dengan demikian besarnya perubahan beban yang tinggi harus diketahui, sehingga dapat diadakan pengaturan seperlunya oleh pusat pengatur beban.

1.2.3.3. Karakteristik beban

Pengoperasian jaringan hanya dapat dilaksanakan dengan sebaik-baiknya apabila diketahui secara persis perilaku (karakteristik) pembebanannya. Daya listik yang digunakan oleh konsumen dalam pembebanan sepanjang hari sangat bervariasi. Grafik karakteristik pembebanan penyulang WNI 01, seperti diperlihatkan pada gambar 2. Gambar 2.2 adalah hasil *record* pembebanan harian yang diambil pada tanggal 8 November 2021, dari data ini dapat diamati bahwa beban harian

Dengan hasil ini kemudian untuk digunakan mengaktifkan operasi penyulang WNI 01 sehingga tercipta tingkatan penyaluran yang ekonomis



Gambar 2.2. Grafik karakteristik beban penyulang WNI 01
Sumber : PT. PLN (Persero) ULP Wonogiri, 2021

1.2.3.4. Gangguan

Dalam operasi jaringan listrik, gangguan atau kegagalan operasi tidak dapat dihilangkan, namun perlu diupayakan kegagalan itu ditekan sekecil mungkin. Apabila gangguan itu tetap terjadi maka harus segera dihilangkan dalam waktu yang sangat singkat.

Pada penyulang saluran udara tegangan menengah sering terjadi gangguan hubung singkat yang bersifat temporer. Berdasarkan pengalaman 80 s/d 95 % gangguan pada sistem SUTM adalah gangguan temporer yang disebabkan oleh :

- a. Terhubungnya konduktor satu dengan yang lain karena tiupan angin.
- b. Sambaran petir.
- c. Burung, reptil dan binatang kecil lainnya yang melintasi kawat bertegangan dan permukaan *grounding*.
- d. Cabang - cabang pohon yang menyentuh jaringan.

Gangguan pada saluran tegangan menengah berupa :

- a. Gangguan fasa yaitu terhubungnya dua buah fasa atau lebih secara langsung atau tidak.
- b. Gangguan tanah yaitu terhubungnya satu fasa atau lebih dengan tanah secara langsung atau tidak. Yang dimaksud dengan tanah termasuk antara lain dengan tiang, badan trafo, selubung timah dari kabel dan lain-lain.
- c. Gangguan konduktor putus.

Kontak (hubungan) tidak langsung terjadi apabila terdapat impedansi gangguan beberapa puluh atau ratusan ohm. Gangguan hubung singkat tersebut di atas sangat berbahaya bagi jaringan dan karena itu harus dilokalisir secepat mungkin dengan pemutusan terhadap jaringan terganggu oleh pemutus tenaga atau sekering. Pemutus tenaga ini bekerja dengan komando dari peralatan pengaman (relay).

Baik relay maupun sekering yang ditempatkan pada jaringan berfungsi sebagai pengaman yang bersifat mendeteksi adanya arus lebih. Pada jaringan distribusi relay ditempatkan di awal saluran yaitu kubikel (sel) 20 kV *out going feeder* di gardu induk, maupun pada *recloser/PBO*.

1.2.3.5. Manuver jaringan

Manuver jaringan atau dengan istilah yang lebih lazim disebut sebagai manipulasi jaringan, merupakan serangkaian kegiatan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan atau pekerjaan jaringan, sedemikian rupa sehingga tetap tercapai kondisi penyaluran yang maksimal.

Manuver jaringan meliputi pekerjaan-pekerjaan :

- a. Menghubungkan bagian bagian jaringan yang terpisah menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak.
- b. Memisahkan jaringan menjadi bagian-bagian jaringan yang semula terhubung menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan atau tidak

Jadi manuver jaringan merupakan pekerjaan menutup atau membuka peralatan penghubung/pemisah seperti seksionalizer dan pemutus tenaga.

Penyulang WNI 01 dapat dimanuver dengan jaringan/ penyulang lain melalui penyulang NTI 03 dan penyulang WNI 06 dengan peralatan penghubung *air break switch* (ABSW) yang terpasang di ujung penyulang WNI 01 seperti terlihat pada gambar 2.1.

1.2.3.6. Peralatan jaringan

Komponen/peralatan untuk saluran udara yang terutama adalah kawat penghantar, isolator, tiang, trafo *out door type*, *arrester*, saklar-saklar pemisah (ABSW, DS, PMT) peralatan proteksi dan pengaman lebur.

Khusus kawat penghantar dan isolator pada waktu terjadi hubung singkat mengalami tekanan gaya elektro mekanis sehingga dapat menyebabkan pecahnya isolator atau tergesernya letak kedudukan kawat penghantar tersebut. Hal-hal seperti ini harus diperhitungkan pada tahap perencanaan dan konstruksi. Sedang tiang sebagai penyangga berat konstruksi saluran, perlu diperhitungkan kekuatan mekanisnya.

Jenis penghantar yang digunakan pada penyulang WNI 01 ini adalah *all aluminium alloy conductors* (AAAC), A3CS (AAAC berselubung), sebagian kecil *aluminium conductor steel reinforced* (ACSR). Jenis konduktor aluminium ini jika dibanding jenis tembaga, aluminium lebih murah, lebih ringan tetapi daya hantarnya lebih rendah dibanding daya hantar tembaga. Selain itu kekuatan mekanis dan titik leburnya juga lebih rendah, tekanan hubung singkat dapat lebih merusakkan. Penghantar ACSR, ditinjau dari segi kekuatan mekanisnya mempunyai kekuatan tarik (*tensile strength*) yang lebih besar.

Peralatan proteksi yang digunakan pada jaringan / penyulang Wonogiri 01 adalah :

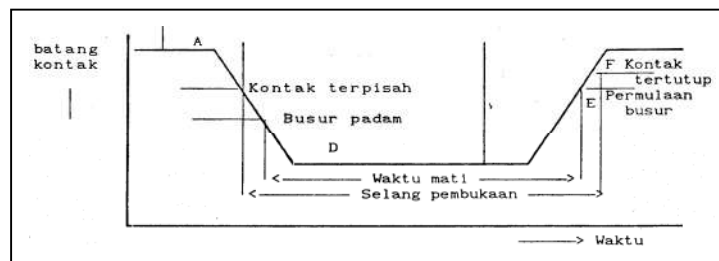
- a. Pemisah (*disconnecting switch*)
- b. *Air Break Switch* (ABSW)
- c. Pemutus tenaga (PMT)
- d. Kubikel
- e. Peralatan Proteksi

1.2.4. Pemutus balik otomatis (PBO)

Pemutus balik otomatis (PBO) atau *Automatic Circuit Recloser* adalah sebuah pengaman arus lebih yang dapat menutup kembali secara otomatis beberapa kali dan dapat membuka dan terkunci (*locked out*) tanpa menutup kembali. Alat ini berfungsi untuk mengatasi gangguan temporer agar pemakai listrik tidak menderita pemadaman tetap oleh gangguan yang sifatnya temporer.

Komponen utama pemutus balik otomatis adalah pemutus (PMT) adalah bagian dari PBO yang berhubungan langsung dengan Tegangan Menengah 20 kV yang mana PMT tersebut mengadakan interuptor pada saat pemasukan dan pelepasan beban.

Tata urutan kerja penutup balik otomatis diperlihatkan pergerakan PMT secara fisik pada gambar 3. Tata urutan kerja PBO mulai saat mendapat sinyal relai pengaman, membuka PMT dan masuk kembali, setelah PMT mendapat perintah untuk membuka PMT, maka PMT akan membuka, pada A kontak secara fisik mulai terbuka tetapi karena masih adanya busur api, maka secara listrik belum terbuka. Pada B busur api padam, sehingga secara listrik rangkaian terbuka, dan batang kontak akan berjalan terus sampai terbuka penuh. Setelah waktu tertentu yaitu waktu tutup kembali (*reclosing time*), PMT mendapat perintah menutup sesaat kemudian PMT bergerak menutup. Pada titik F mulai terjadi busur api, sehingga secara listrik rangkaian telah tertutup walaupun belum sempurna, dan sampai G terjadi kontak secara fisik sehingga busur akan padam dan akhirnya pada G telah menutup sempurna. Disini dikenal waktu mati (*dead time*) ialah waktu dimana sirkuit terbuka secara listrik, waktu selang pembukaan yaitu waktu dimana secara fisik PMT terbuka. Kedua waktu ini sering dianggap sama, dan waktu tutup kembali yaitu waktu penyetulan dimana penutup balik akan memberi perintah PMT menutup.

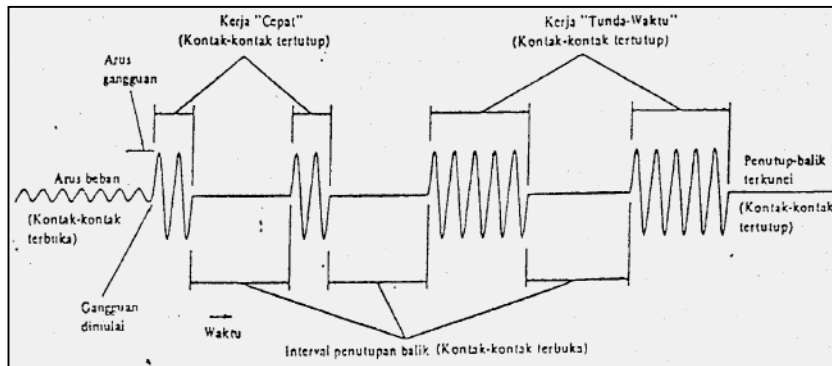


Gambar 3. Proses kerja PBO

Sumber : Dodi lukman, 2008

Berdasarkan waktu tutup kembali (waktu tutup kembali umumnya dianggap sama dengan waktu mati penutup balik) dapat dinyatakan sebagai penutup balik cepat dan penutup balik

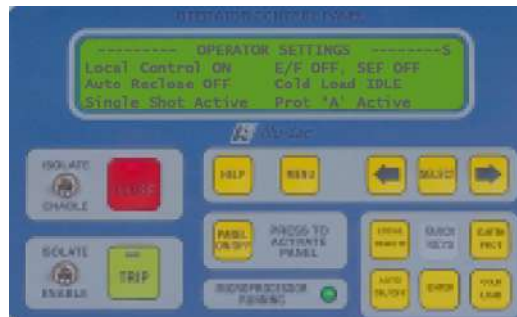
lambat. Berdasarkan jumlah pembukaan dan penutupan, penutup balik dapat dikelompokkan menjadi penutup balik sekali (*single shot recloser*) dan penutup balik beberapa kali (*multi shot recloser*), lebih jelasnya urutan operasi PBO diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4. Urutan operasi PBO
Sumber : Dodi lukman, 2008

1.2.5. Cara setting PBO (recloser)

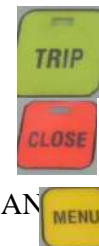
Pada PMT *recloser* tipe minyak, interruptur (pelepasan/pemasukan) yang terjadi berada dalam ruang berisi minyak, sedangkan pada tipe gas berisi gas SF6. Sedang sarana pemasukan sepenuhnya digerakkan oleh *selenoit closing coil* yang mendapat sumber tegangan 20 kV dari fasa R dan fasa S didalam PMT. Untuk pengendalian PMT secara *remote* melalui *electronic control box* digunakan power DC 24 Volt yang didapat dari *baterie cadmium* yang selalu di *charge* terus menerus. Adapun panel control PMT (gambar 5) dan cara pengoperasiannya diberikan sebagai berikut,



Gambar 2.5. Panel kontrol tipe NULEC
Sumber : Puasanto, Iwan. 2006

Cara pengoperasiannya adalah :

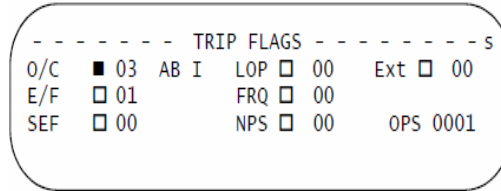
- a. Operasi (Buka / Tutup) recloser
 - Untuk **membuka (open)** recloser tekan tombol
 - Untuk **menutup (close)** recloser tekan tombol
- b. Pembacaan beban
 - Untuk membaca beban yang mengalir di recloser tekan tombol sampai muncul display dengan nama "INSTANEOUS DEMAN



- c. Melihat indikasi gangguan

- - - - INSTANEOUS DEMAND - - - - M			
Earth	0 Amp	A Phase	123 Amp
NPS	0 Amp	B Phase	128 Amp
		C Phase	121 Amp

- Untuk melihat indikasi gangguan perhatikan display LCD pada layar “TRIP FLAGS”, perhatikan kotak yang terisi penuh (■), O/C untuk OCR dan E/F untuk GFR. Kemudian perhatikan huruf yang muncul di sebelah O/C (‘ABC’ untuk menentukan fasa terganggu, dan ‘I’ untuk menunjukkan gangguan instan)



d. Posisi local / remote

- Untuk merubah posisi operasi recloser dari LOCAL ke REMOTE, tekan tombol



sekali sehingga di layar muncul “LOCAL CONTROL ON”, tekan sekali lagi



sampai muncul “REMOTE CONTROL ON”, kemudian tekan . Demikian sebaliknya.

e. On / Off reclosing

- Untuk merubah posisi recloser dari “ON RECLOSE” ke “OFF RECLOSE”, tekan

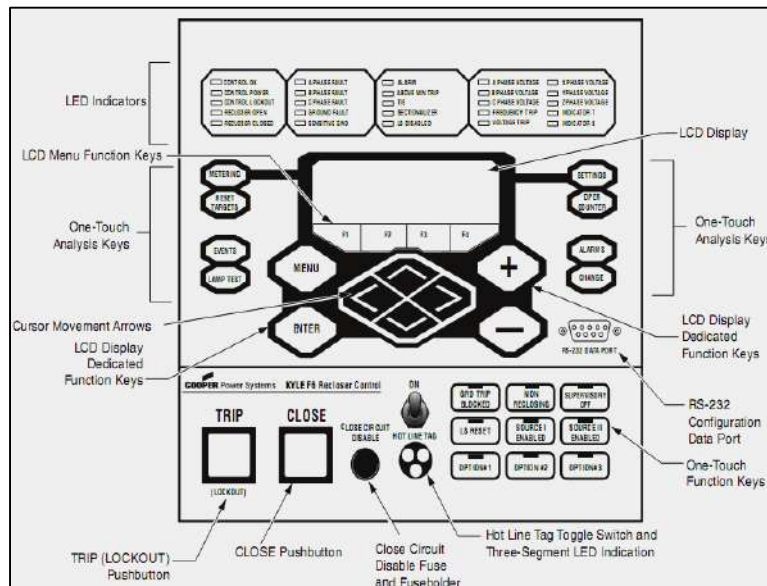


tombol sekali sehingga di layar muncul “AUTO RECLOSE ON”, tekan



sekali lagi sampai muncul “AUTO RECLOSE OFF”, kemudian tekan . Demikian sebaliknya.

Cara setting kontrol PBO tipe NuLec dapat dilakukan penyetelan seperti yang diperlihatkan pada gambar 6, dengan penjelasan sebagai berikut :








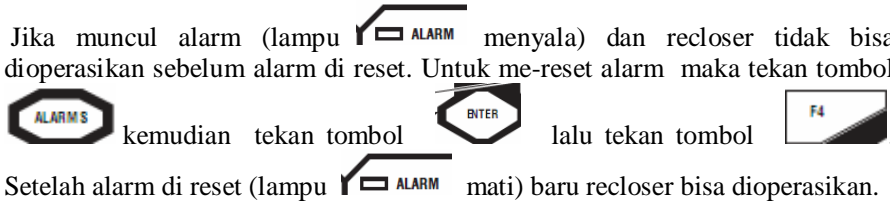
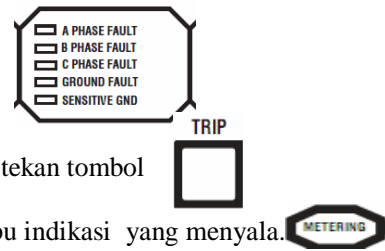
Gambar 6. KYLE F6

Sumber : Puasanto, Iwan. 2006

- Setting jumlah total operasi sampai *lock-out* 3 kali dengan cara mengubah angka pada settingan.
- Menentukan interval tunda untuk masing-masing operasi penutup balik yaitu 5, 10, 10 atau dengan nilai yang lain dengan cara mengubah angka menjadi 5, 10, dan 10.
- Memilih kurva gangguan tanah dengan memilih type kurva yang diinginkan, misalkan *kyle_101*.
- Memilih kurva gangguan fasa dengan memilih type kurva seperti pada pemiihan type kurva pada kurva gangguan tanah.
- Setting waktu reset PBO 60 detik, yaitu dengan mengatur nilai pada angka 60.
- Seting arus lebih (OCR) 320 A, yaitu dengan mengubah nilai pada *over current* menjadi 320 A.
- Seting arus gangguan tanah (GFR) 140 A, yaitu dengan mengubah nilai pada nilai gangguan tanah menjadi 140 A.

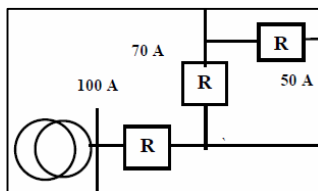
Cara pengoperasian KYLE F6 diberikan sebagai berikut :

- Perasi (Buka / Tutup) recloser
 - Untuk **membuka (open)** recloser tekan tombol
 - Untuk **menutup (close)** recloser tekan tombol
- Pembacaan beban
 - Untuk membaca beban yang mengalir di recloser tekan tombol
- Melihat indikasi gangguan
 - Untuk melihat indikasi gangguan perhatikan lampu indikasi yang menyala.
- Operasi local / remote
 - Recloser KYLE dapat dioperasikan secara local dalam posisi LOCAL ataupun REMOTE.
- On / Off reclosing
 - Untuk memposisikan recloser pada posisi 'off-reclose', tekan tombol sampai lampu pada tombol menyala. Jika tidak menyala, berarti fitur 'off reclose' tidak diaktifkan.
- Reset alarm
 - Jika muncul alarm (lampu  menyala) dan recloser tidak bisa dioperasikan sebelum alarm di reset. Untuk me-reset alarm maka tekan tombol  kemudian tekan tombol  lalu tekan tombol . Setelah alarm di reset (lampu  mati) baru recloser bisa dioperasikan.



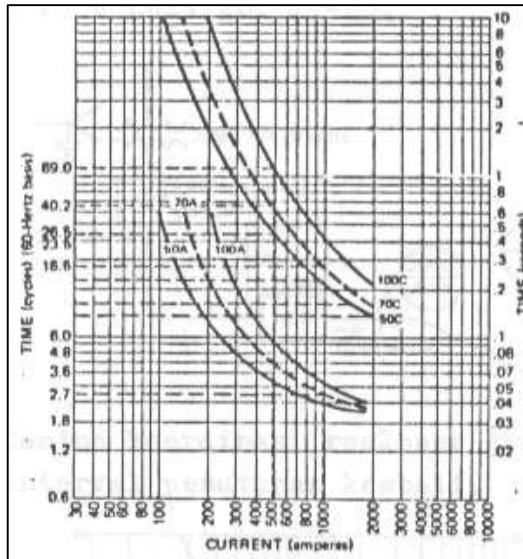
1.2.6. Koordinasi PBO 1 dengan PBO 2

Koordinasi kedua penutup balik ini dapat dilakukan dengan peningkatan arus, atau dengan peningkatan waktu kerja atau kombinasinya. Sebagai contoh peningkatan koordinasi arus diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. Contoh pada koordinasi peningkatan arus
 Sumber : Nugroho Agus Darmanto dan Susatyo Handoko, 2006

Pada gambar 7. ditunjukkan koordinasi berdasarkan pertingkatan arus, PBO 1 dengan nominal 100 A, PBO 2 dengan nominal arus 70 A dan PBO ke 3 dengan nominal arus 50 A, dasarnya prinsip kerja ketiga PBO ditentukan dengan karakteristik waktu. Kalau terjadi gangguan setelah PBO ke 3, PBO ke 3 harus bekerja, sedang lainnya tidak boleh bekerja, kecuali pada pembukaan pertama masih dapat tidak selektif, tetapi pembukaan kedua harus telah selektif. Adapun karakteristik waktu ketiga PBO sebagai fungsi arus gangguan ditunjukkan dalam gambar 8.

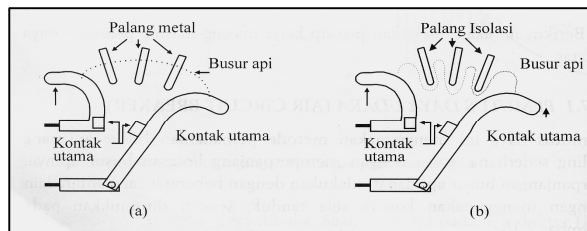


Gambar 8. Koordinasi PBO dengan karakteristik arus waktu
 Sumber : Nugroho Agus Darmanto dan Susatyo Handoko, 2006

1.2.7. Jenis – jenis Pemutus

a. Pemutus daya udara (*Air Circuit Breaker*)

Pemutus daya ini menggunakan metode pemadam busur api yang paling sederhana, yaitu dengan memperpanjang lintasan busur api. Perpanjangan busur api dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain dengan menggunakan kontak sela tanduk. Saat kontak dipisahkan busur api terbentuk pada bagian bawah kontakannya. Panas yang ditimbulkan busur api membuat suhu dibagian bawah kontak lebih tinggi daripada suhu dibagian atasnya sehingga terjadi aliran udara dari bawah keatas. Aliran udara ini mendorong busur api bergerak keatas. Busur api yang panjang sangat mudah dipadamkan oleh arus konveksi udara, sehingga busur api sudah padam sebelum mencapai ujung tanduk. Pemutus daya seperti ini digunakan untuk rangkaian DC dan AC tegangan rendah dengan arus pemutusan sampai ratusan ampere.



Gambar 9. Kontak pemutus daya dengan tabir: a). tabir metal dan b). tabir isolator.

Sumber : Marsudi, Djiteng, 2006

Untuk rangkaian bertegangan lebih tinggi konstruksi kontak dan pemadam busur api dibuat seperti pada gambar 2.9.a. busur api yang sudah memanjang karena dorongan udara, dipotong menjadi beberapa seksi oleh tabir metal. Maka busur api pada setiap seksi selain mengalami

pemanjangan juga mengalami efek pendinginan. Pemutus daya ini digunakan untuk tegangan beberapa ribu volt dan dapat memutuskan arus beberapa ribu ampere.

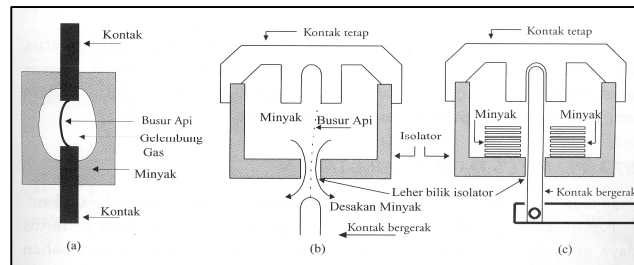
Pemutus daya jenis lain adalah seperti ditunjukkan pada gambar 2.9.b. tabirnya dibuat dari bahan isolator, sehingga busur api dipaksa menelusuri permukaan isolator. Dalam hal ini pemadaman busur api terjadi karena:

- Efek pemanjangan busur api
- Efek pendinginan permukaan isolator
- Partikel bermuatan mempunyai peluang yang besar untuk mengadakan rekombinasi.

Pemutus daya ini digunakan untuk memutus arus sampai 50 kA dan dapat digunakan pada rangkaian bertegangan sampai 10 kV.

b. Pemutus daya minyak (Oil Circuit Breaker)

Saat busur api dipisahkan, busur api akan terjadi didalam minyak, sehingga minyak menguap dan menimbulkan gelembung gas yang menyelubungi busur api, seperti ditunjukkan pada gambar 10.



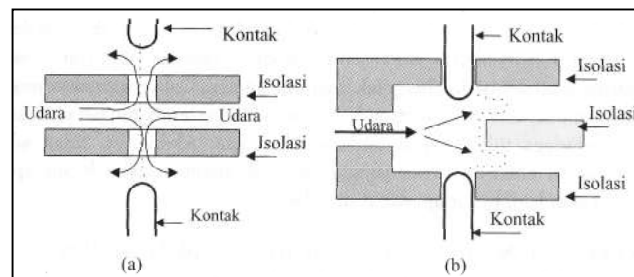
Gambar 10. Gelembung gas pada sela kontak dan bilik kontak pada pemutus daya minyak
 Sumber : Marsudi, Djiteng, 2006

Akibat panas yang ditimbulkan busur api, minyak mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas *hydrogen* yang bersifat menghambat produksi pasangan ion. Oleh karena itu, pemadaman busur api tergantung pada pemanjangan dan pendinginan dan juga tergantung pada jenis gas hasil dekomposisi minyak. Jenis pemutus daya ini dapat memutuskan arus hubung singkat sampai 10 kA pada rangkaian bertegangan sampai 500 kV.

Minyak yang berada diantara kontak sangat efektif memutuskan arus, kelemahannya adalah minyak mudah terbakar dan kekentalan minyak memperlambat pemisahan kontak, sehingga tidak cocok untuk sistem yang membutuhkan pemutusan arus yang cepat.

c. Pemutus daya udara tekan

Gambar 11 memperlihatkan skema kontak pemutus daya udara tekan. Pemutus daya yang dirancang untuk mengatasi kelemahan pada pemutus daya minyak, yaitu dengan membuat media isolator kontak dari bahan yang tidak mudah terbakar dan tidak menghalangi pemisahan kontak, sehingga pemisahan kontak dapat dilaksanakan dalam waktu yang sangat cepat.

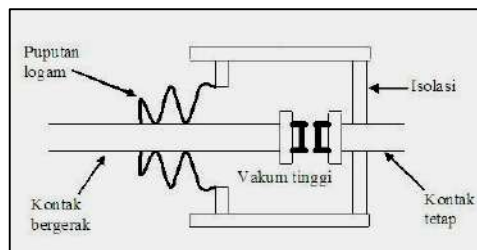


Gambar 11. Pemadaman busur api pada pemutus daya udara tekan
 Sumber : Sumber : Marsudi, Djiteng, 2006

Saat busur api timbul, udara bertekanan tinggi ditiupkan untuk mendinginkan busur api dan menyingkirkan partikel bermuatan dari sela kontak. Pada gambar 13.a, udara ditiupkan parallel dengan busur api, sedangkan pada gambar 13.b terlihat udara ditiupkan tegak lurus terhadap busur api dan mendorong busur api menelusuri permukaan tabir isolator, sehingga busur api bertambah panjang. Hal ini memberi efek pendinginan terhadap busur api dan memberi peluang bagi partikel bermuatan untuk mengadakan rekombinasi. Pemutus daya ini mampu memutus arus sampai 40 kA pada rangkaian AC bertegangan sampai 765 kV.

d. Pemutus daya vakum

Pemutus daya vakum, kontak ditempatkan pada suatu bilik vakum seperti diperlihatkan pada gambar 12. Untuk mencegah udara masuk kedalam bilik, maka bilik harus ditutup rapat dan kontak Bergeraknya harus diikat dengan perapat logam.



Gambar 12. Kontak pemutus daya vakum

Sumber : Marsudi, Djiteng, 2006

Jika kontak dibuka, maka pada katoda kontak terjadi emisi *thermos* dan medan tegangan yang tinggi memproduksi elektron bebas. Elektron hasil emisi tersebut bergerak menuju anoda. Dalam perjalanannya menuju anoda, elektron bebas tidak bertemu dengan molekul udara sehingga tidak terjadi ionisasi tumbukan. Akibatnya, tidak ada penambahan elektron bebas yang mengawali pembentukan busur api, maka busur api padam.

1.2.8. Jenis Relay

1.2.8.1. Relay arus lebih (OCR)

Dalam kondisi normal, transformator arus akan mentransformasikan arus beban ke besaran sekunder dan arus yang mengalir pada kumparan relay lebih kecil pada satu nilai yang ditetapkan (setting), maka tidak akan bekerja. Bekerjanya relay berdasarkan arus yang melebihi dari ketentuan (setting) sehingga relai akan memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.

Sedangkan untuk setelan, arus lebih harus lebih dulu dihitung berdasarkan arus beban yang mengalir dari bus ke transformator dan sampai ke penyulang atau *incoming* trafo, artinya:

- Untuk relay arus lebih yang terpasang di bus menuju ke sisi primer dan sekunder trafo sampai ke *incoming* dihitung berdasarkan arus beban maksimum yang mengalir pada jaringan tersebut.
- Untuk relay arus lebih yang terpasang di *incoming* trafo dihitung berdasarkan arus nominal trafo tersebut.

Relay inverse biasa di set sebesar $1,05 \text{ s/d } 1,3 \times I_{\text{nominal}}$, sedangkan *relay definite* diset sebesar $1,2 \text{ s/d } 1,3 \times I_{\text{nominal}}$.

Persyaratan lain yang harus terpenuhi adalah bahwa penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama penyulang) tidak lebih kecil dari 0,3 detik. Pertimbangan ini diambil agar relai tidak sampai *trip* lagi akibat arus *inrush* dari trafo distribusi yang tersambung di jaringan distribusi.

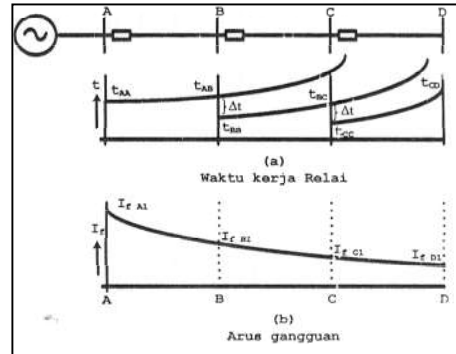
Keuntungan dan kerugian dari *inverse time relay* adalah:

- Keuntungan *inverse time relay*

Kondisi sistem tertentu sebagai pengaman banyak saluran, *inverse time relay* dapat menekan akumulasi waktu yang berarti dapat memberikan pengaman yang lebih cepat khususnya untuk relai disisi sumber.

- Kerugian *inverse time relay*

Sensitif terhadap perubahan kapasitas pembangkit, waktu kerjanya berubah-ubah dengan berubahnya kapasitas pembangkit. Makin landai kurva waktu kerja relay makin cepat waktu pemutusan arus apabila terjadi hubung singkat, dengan *time graded* koordinasi waktu pemutusan arus, dapat dijelaskan menggunakan gambar 13.

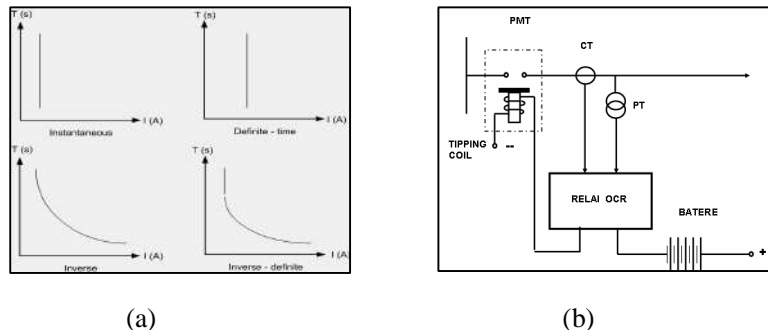


Gambar 13. Koordinasi relay pemutusan arus gangguan dengan karakteristik *inverse time*
 Sumber : Nugroho Agus Darmanto dan Susatyo Handoko, 2006

Keterangan gambar:

- $I_{fA1}, I_{fB1}, I_{fC1}, I_{fD1}$: Arus gangguan di bus A, B, C, D.
- t_{AA} : Waktu kerja relay A untuk gangguan di A
- t_{AB} : Waktu kerja relay A untuk gangguan di B
- t_{BB} : Waktu kerja relay B untuk gangguan di B
- t_{BC} : Waktu kerja relay B untuk gangguan di C
- t_{CC} : Waktu kerja relay C untuk gangguan di C
- t_{CD} : Waktu kerja relay C untuk gangguan di D

Bentuk kurva karakteristik relay arus dan sistem kerjanya terhadap Pemutus (PMT) diperlihatkan gambar 14a dan 14b.



Gambar 14. (a) Berbagai macam kurva karakteristik relay arus
 (b) Rangkaian hubungan rele arus lebih (OCR) dengan pemutus tenaga (PMT)
 Sumber : Dodi lukman, 2008

Gambar 14 menerangkan cara kerja relay apabila terjadi gangguan hubung singkat maka arus sekunder yang di *setting* sebelumnya melebihi kapasitasnya maka relay (OCR) bekerja untuk memberi sinyal atau perintah ke pemutus tenaga (PMT) untuk trip sesuai dengan *setting* waktu kerja relay dan arus hubung singkatnya.

1.2.8.2. Relay gangguan tanah (GFR)

Relay gangguan tanah merupakan pengaman sistem distribusi yang mendeteksi adanya gangguan hubung singkat antara kawat fase dengan tanah. Arus gangguan hubung singkat antara

kawat fase dengan tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban maksimum ($I_{b\text{maks}}$) yang disebabkan oleh salah satu atau kedua hal berikut :

1. Gangguan tanah tersebut melalui gangguan yang masih cukup tinggi.
2. Pentanahan netral sistemnya melalui impedansi (*resistan*) yang tinggi, atau bahkan tidak ditanahkan.

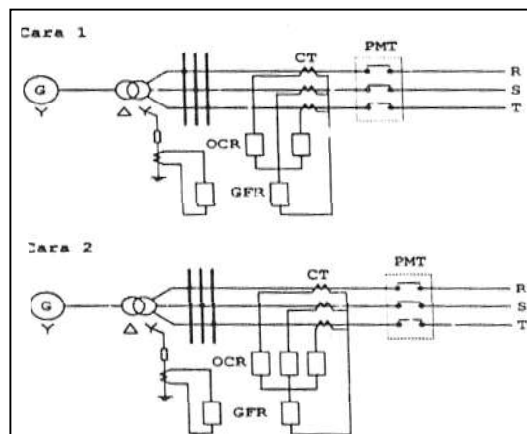
Relay gangguan tanah tidak dipasang dikawat fase tetapi mengambil arus *residu* dari tiap arus fase. Karena arus gangguan tanah ($I_f < I_{b\text{maks}}$, maka untuk menanganulangnya relay dipasang pada kawat netral, Sehingga besarnya arus gangguan tanah diperlihatkan pada persamaan 1.

$$I_f = 2 \times I_0 = \vec{I}_R + \vec{I}_S + \vec{I}_T \quad (1)$$

dengan,

- I_f : Arus gangguan tanah (A)
- I_0 : Arus pada urutan netral (A)
- I_R, I_S, I_T : Arus pada fase R, S dan T (A)

Penempatan GFR umumnya dipasang pada gardu induk atau keluaran dari trafo setelah pembangkit (gambar 15). Sehingga jika terjadi gangguan di penyulang pada salah satu beban, maka beban yang terkait dalam satu penyulang mengalami padam (putus rangkaian listrik).

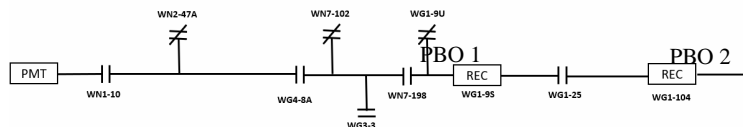


Gambar 15. Penempatan *ground fault relay* (GFR)
Sumber : Marsudi, Djiteng, 2006

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam skripsi ini diantaranya adalah dua buah Pemutus Balik Otomatis (PBO) dan satu Pemutus (PMT) yang terdapat pada penyulang Wonogiri 01. Adapun PBO tersebut adalah merk Schneider dengan tipe : Nulec type ME. PBO tersebut terpasang secara parallel yang bertujuan memproteksi adanya gangguan seperti terlihat pada gambar 16.



Gambar 16. Letak PBO pada penyulang WNI 01

Sedangkan alat yang digunakan untuk pengujian piranti PBO adalah *relay test set*. Alat ini mempunyai fasilitas membangkitkan tegangan AC/DC sampai 300 Volt, arus AC/DC dari 0-30 Amper dan timer. Selain itu alat yang digunakan untuk penulisan adalah satu unit komputer merk

Asus EETOP 1620IUTT-BD002R dan satu unit printer merk Epson L1800 dan program aplikasi *microsoft word*. Adapun bentuk fisik alat uji piranti PBO diperlihatkan pada gambar 17.



Gambar 17. Alat uji *Relay Test Set*
Sumber : PT. PLN (Persero) Rayon Wonogiri

2.2. Jalannya Penelitian

Langkah yang dilakukan dalam pengujian PBO untuk operasional koordinasi antara PBO dengan PBO maupun PBO dengan PMT dilakukan sebagai berikut :

Langkah 1 : Melakukan setingan PBO

- Setting* jumlah total operasi sampai *lock-out* 3 kali dengan cara mengubah angka pada setingan.
- Menentukan interval tunda untuk masing-masing operasi penutup balik yaitu 5, 10, 10 atau dengan nilai yang lain dengan cara mengubah angka menjadi 5, 10, dan 10.
- Memilih kurva gangguan tanah dengan memilih type kurva yang diinginkan, misalkan *kyle_101*
- Memilih kurva gangguan phasa dengan memilih type kurva seperti pada pemiihan type kurva pada kurva gangguan tanah.
- Setting* waktu reset PBO 60 detik, yaitu dengan mengatur nilai pada angka 60.
- Seting arus lebih (OCR) 320 A, yaitu dengan mengubah nilai pada *over current* menjadi 320 A.
- Seting arus gangguan tanah (GFR) 140 A, yaitu dengan mengubah nilai pada nilai gangguan tanah menjadi 140 A.

Langkah 2 : Melakukan pengujian PBO maupun PMT

- Melakukan pelepasan rangkaian kontrol PBO yang menuju PMT
- Pemasangan alat kontrol tipe MET ke piranti PBO maupun PMT
- Pembacaan dan pencatatan nilai hasil pengujian

Langkah 3 : Memproses hasil pengujian

- Data terukur diambil dan dibuat grafik ke dalam kertas logarirmik, sehingga terbentuk grafik kurva arus dan waktu baik terhadap arus lebih (OCR) maupun arus hubung singkat (GFR).
- Menggabungkan kurva arus – waktu OCR maupun GFR, sehingga terbentuk karakteristik koordinasi PBO dengan PBO maupun PMT dengan PBO.

Langkah 4 : Analisa dan Pembahasan

Hasil pengujian dalam bentuk data angka maupun grafik karakteristik selanjutnya dianalisa sejauhmana kinerja koordinasi anatara PBO dengan PBO maupun PMT dengan PBO.

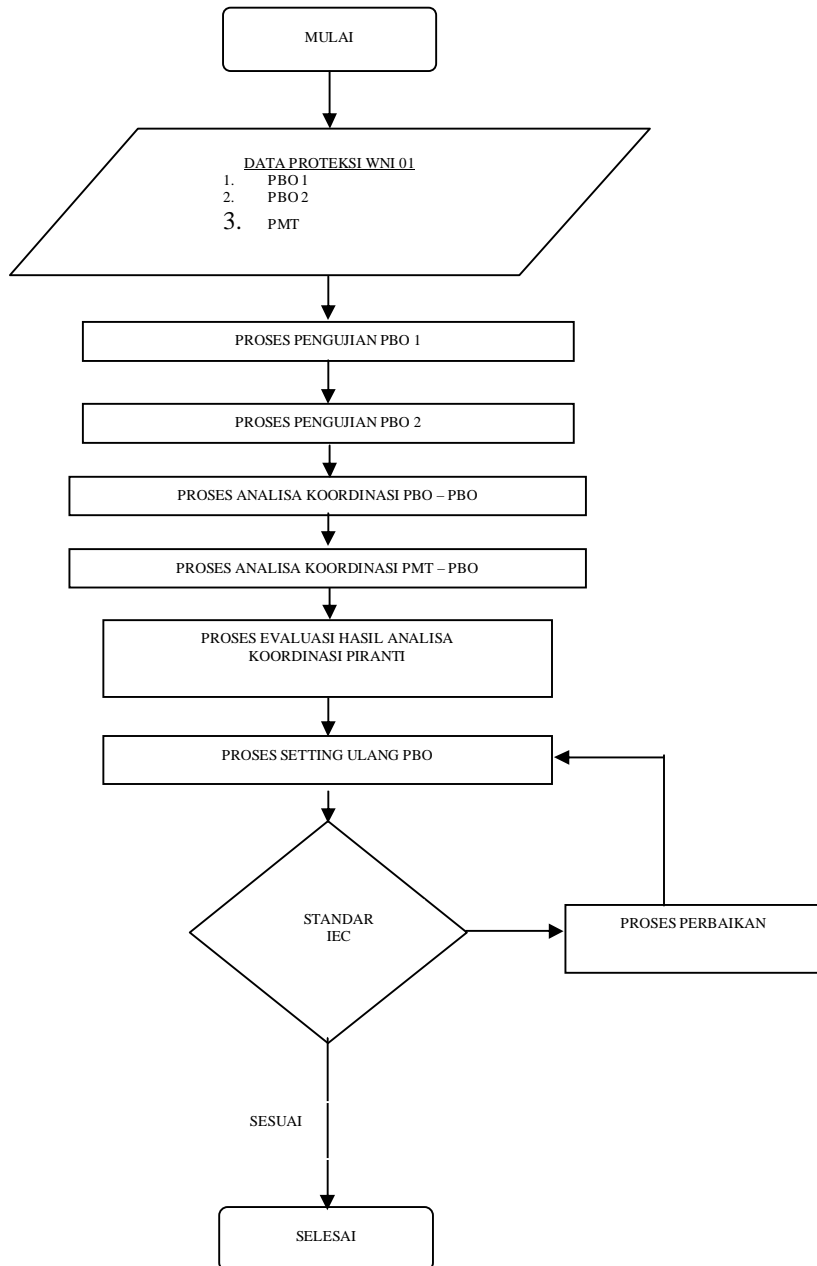
Langkah 5 : Mengaevaluasi hasil pengujian

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan hasil pengujian PBO maupun PMT, selanjutnya dilakukan evaluasi apakah PBO maupun PMT saat ini masih layak dalam kinerjanya sebagai proteksi terhadap gangguan arus lebih maupun hubung singkat.

Langkah 6 : Kesimpulan

Setelah analisis dan evaluasi hasil pengujian didapatkan, selanjutnya dilakukan suatu langkah keputusan/ kesimpulan yang menyatakan kondisi kinerja piranti PBO dan PMT yang ada saat ini.

Proses pengujian tersebut merupakan suatu langkah untuk mengevaluasi keberadaan kondisi piranti proteksi yang digunakan dan terpasang pada penyulang WNI 01, untuk lebih jelasnya alur pengujian diberikan pada gambar 18.



Gambar 18. Diagram alir proses pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Pengujian Piranti Proteksi SUTM

3.1.1. Data pengujian arus lebih

Berdasarkan pencatatan hasil pengujian karakteristik arus –waktu OCR (Over Current Relay) dan GFR (Ground Fault Relay) didapatkan hasil seperti yang diperlihatkan pada tabel 3, sedangkan data setting arus kerjanya diberikan pada tabel 2.

Tabel 2. Data setting Arus kerja

I>	tms	I>>	Io>	tms	Io>>	t lo>>
480 A	0.2 S	760 A	240 A	0,240 S	2,080 A	0,1 S

Tabel 3 Data pengujian karakteristik arus –waktu OCR dan GFR

	PHASA	kali I(S)	Pengujian (S)	Hasil	Error (%)
				Perhitungan (S)	
KARAKTERISTIK WAKTU	R	1,5	3,10	3,438844	0,099407
		2	1,923	2,005805	0,041283
		3	1,27	1,260386	-0,00921
		4	1,01	0,995951	-0,01411
	S	1,5	3,075	3,438844	0,105804
		2	1,946	2,005805	0,029816
		3	1,277	1,260386	-0,01318
		4	1,009	0,995951	-0,0131
	T	1,5	3,035	3,438844	0,117436
		2	1,985	2,005805	0,010373
		3	1,273	1,260386	-0,01001
		4	1,005	0,995951	-0,00909
	N	1,5	3,635	3,438844	-0,05704
		2	2,039	2,005805	-0,01655
		3	1,473	1,260386	-0,16869
		4	1,188	0,995951	-0,19283

3.1.2. Data pengujian penutup balik otomatis (PBO)

3.1.2.1. Data pengujian PBO pertama

Hasil pengujian PBO pertama diperoleh data-data seperti diperlihatkan pada tabel 4 dan tabel 5.

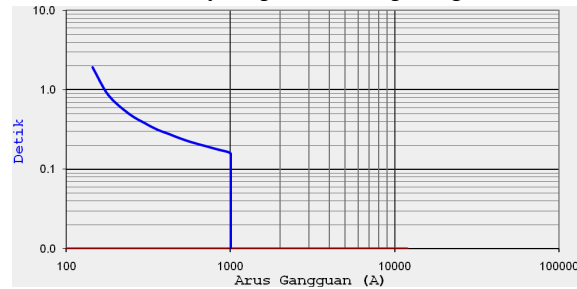
Tabel 4. Pengujian karakteristik arus-waktu fasa A

I (Ampere)	t (detik)
384	1.92
480	0.86
640	0.50
800	0.38
960	0.32
1120	0.28
1280	0.25
1400	0.23
1400	0.21

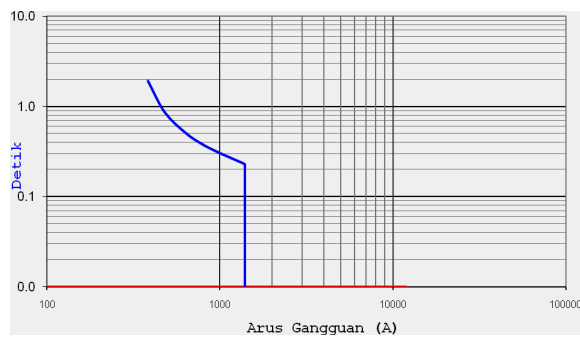
Tabel 5. Pengujian karakteristik arus-waktu *ground*

I (Ampere)	t (detik)
120	1.92
180	0.86
240	0.50
300	0.38
360	0.32
420	0.28
480	0.25
540	0.23
600	0.21
720	0.19
840	0.18
960	0.16
1000	0.16
1000	0.15

Bentuk kurva karakteristiknya diperlihatkan pada gambar 19 dan 20.



Gambar 19. Kurva arus – waktu GFR (PBO ke satu)



Gambar 20. Kurva arus – waktu OCR (PBO ke satu)

3.1.2.2. Data pengujian PBO kedua

Hasil pengujian PBO kedua diperoleh data-data seperti diperlihatkan pada tabel 6 dan tabel 7.

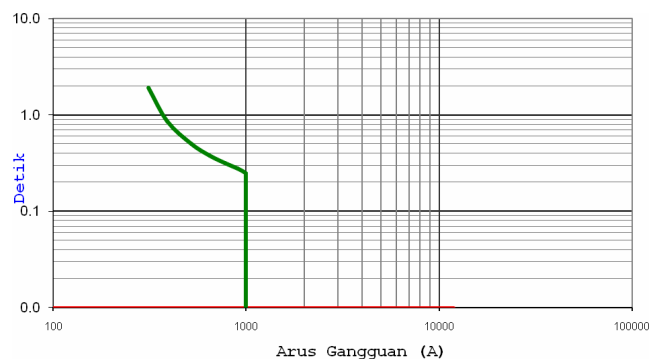
Tabel 6. Pengujian karakteristik arus-waktu fase A

I (Ampere)	t (detik)
96	1.92
120	0.86
160	0.50
200	0.38
240	0.32
280	0.28
320	0.25
360	0.23
400	0.21
400	0.19

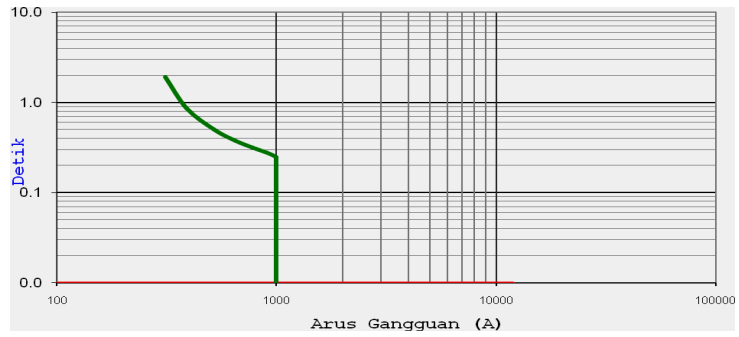
Tabel 7. Pengujian karakteristik arus-waktu *ground*

I (Ampere)	t (detik)
96	1.92
120	0.86
160	0.50
200	0.38
240	0.32
280	0.28
320	0.25
360	0.23
400	0.21
480	0.19
560	0.18
640	0.16
720	0.16
750	0.15
750	0.14

Bentuk kurva karakteristiknya diperlihatkan pada gambar 21 dan 22.



Gambar 21. Kurva Arus- waktu OCR (kedua)

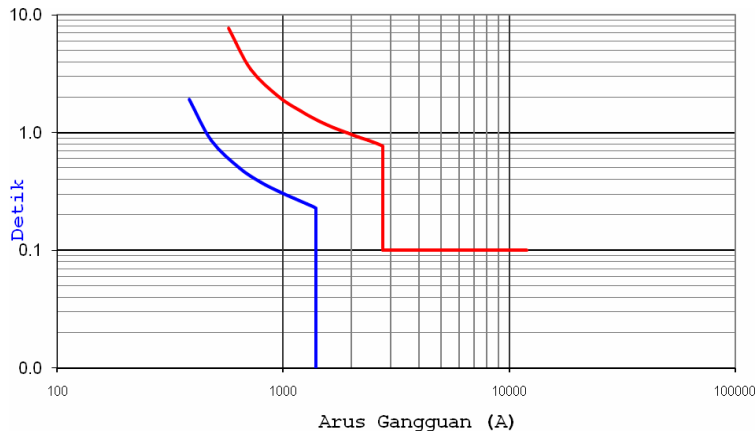


Gambar 22. Kurva Ground- waktu GFR (ke dua)

3.2. Koordinasi Piranti Proteksi

3.2.1. Koordinasi PMT dengan PBO pertama

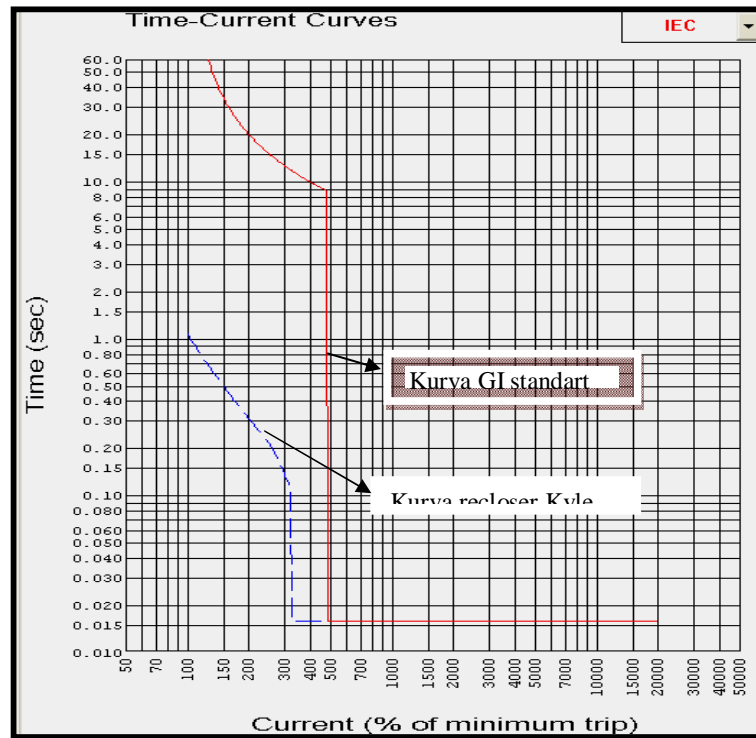
Mengacu pada hasil pengujian PBO pertama dan bentuk kurva arus – waktu OCR maupun GFR seperti pada gambar 21 dan 22, maka dengan menggabungkan hasil pengujian tersebut dengan kurva koordinasi PBO – PMT seperti terlihat pada gambar 23 dan 24 diperoleh kurva koordinasi seperti gambar 25. Gambar 25 menampilkan bahwa OCR/GFR dengan PBO dapat berkoordinasi dengan baik.



Gambar 23. Kurva koordinasi OCR, PBO - PMT



Gambar 24.. Kurva Koordinasi GFR, PBO - PMT



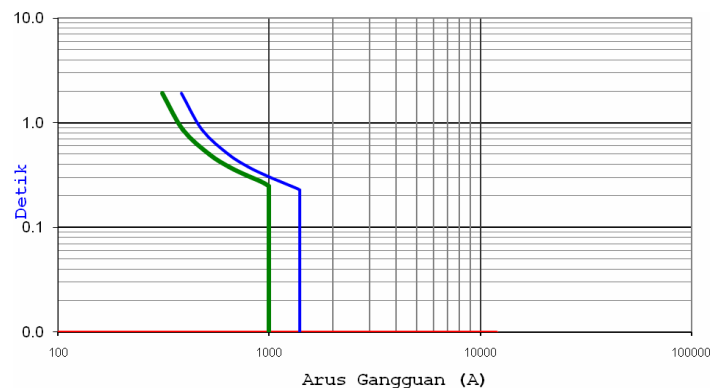
Gambar 25. kurva arus GI dan Recloser (PBO) pertama

Kurva koordinasi OCR dan GFR antara PMT dengan PBO pertama, tidak mengalami pemotongan. Begitu juga didalam kurva arus antara PMT dengan PBO pertama tidak ada pemotongan.

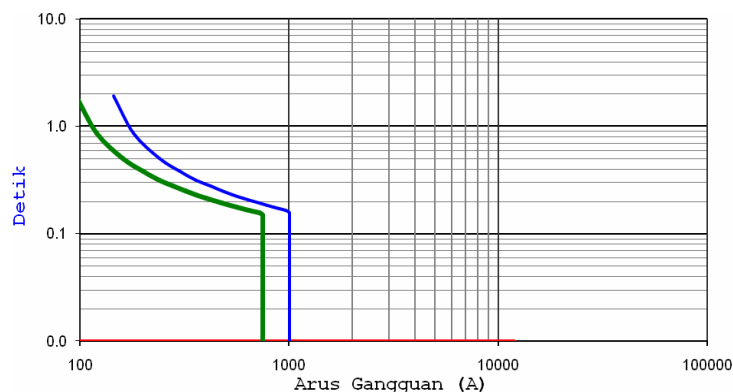
Kurva koordinasi dan kurva arus GI mempunyai waktu pemutusan lebih lambat daripada PBO, sehingga bila terjadi gangguan di depan PBO, PBO dapat memutus dengan lebih cepat sebelum PMT bekerja.

3.2.2. Koordinasi PBO pertama dengan PBO kedua

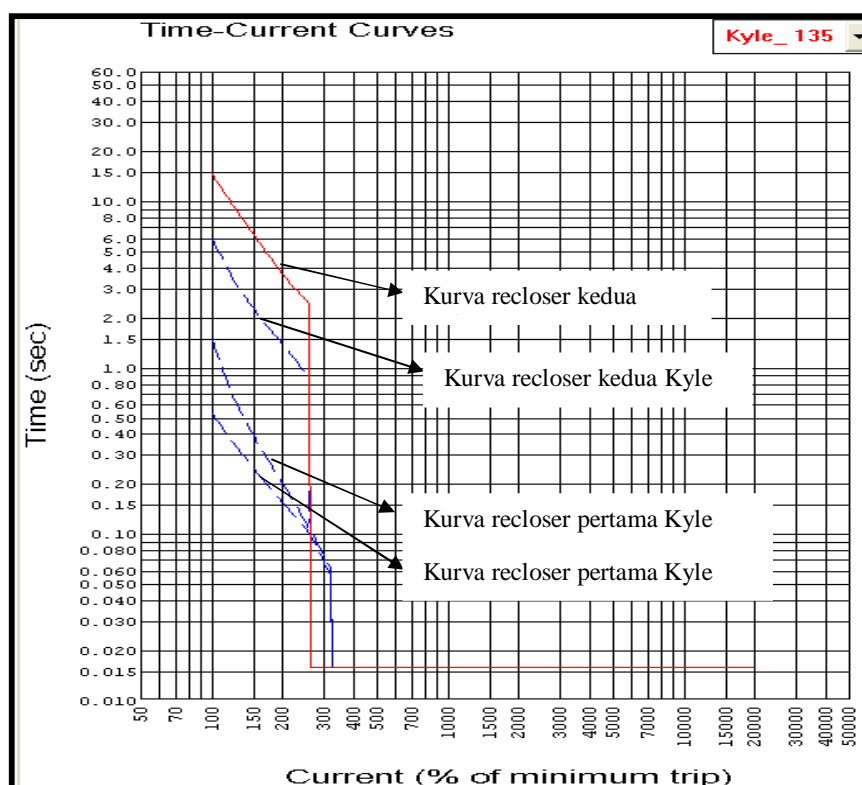
Mengacu pada hasil pengujian PBO pertama dan PBO kedua dengan kurva seperti pada gambar 21 sampai dengan gambar 25, maka dihasilkan suatu bentuk kurva kooordinasi seperti diperlihatkan gambar 26 dan gambar 27, maka dengan penggabungan kedua kurva tersebut pada suatu sistem dihasilkan kurva seperti gambar 28.



Gambar 26. Kurva koordinasi OCR PBO 1 – PBO 2



Gambar 27. Kurva koordinasi GFR PBO 1 – PBO 2



Gambar 28. Kurva arus PBO 1 dan PBO 2

Kurva OCR dan GFR pada PBO pertama dan PBO kedua tidak mengalami pemotongan. Sehingga waktu kerja dapat berkoordinasi.

Kurva arus PBO kedua mempunyai waktu pemutusan lebih lama dari pada waktu pemutusan PBO pertama. Sehingga bila terjadi gangguan di depan PBO kedua, sebelum PBO kedua melakukan pemutusan, PBO pertama akan melakukan pemutusan. Sehingga PBO kedua tidak dapat berkoordinasi dengan PBO pertama.

Dengan demikian perlu pemilihan kurva arus pada PBO kedua agar dapat berkoordinasi dengan kurva arus pada PBO pertama.

3.3. Pembahasan

3.3.1. Pengujian relay arus lebih

Berdasarkan data pengujian relay arus lebih tersebut dapat dianalisa, apakah kerja dari relay tersebut masih sesuai atau sudah ada perubahan. Dalam analisa relay tersebut berpedoman pada British Standar dan dari data yang didapat, error antara pengujian dan perhitungan masih berkisar antara 1 % , maka relai masih dinyatakan baik/ sesuai.

3.3.2. Pengujian PBO pertama

Total operasi dari *recloser* sampai *lock out* adalah 3 kali, dengan *interval waktu* pertama, kedua dan ketiga berturut-turut adalah 5, 10, 10 detik dan waktu *reset time* adalah 60 detik. Untuk arus kerja minimum untuk fasa adalah 320 Amper dan untuk *ground* 120 A. Dari tabel 6 dan 7 diperoleh data bahwa waktu kerja *recloser* dari trip pertama, kedua dan ketiga waktunya sama. Hal ini semua membuktikan bahwa kinerja dari *recloser* tersebut masih baik.

3.3.3. Koordinasi piranti proteksi

Tahapan analisis koordinasi proteksi dilakukan untuk memastikan bahwa peralatan pengaman yang terpasang di sepanjang penyulang Wonogiri 01 tersebut dapat bekerja sesuai dengan apa yang diharapkan, yaitu dapat berkoordinasi dengan pengaman lainnya, sehingga penyulang tersebut dapat beroperasi secara efisien. Setelah diketahui kinerja relay perlu dievaluasi dan mencari solusinya. Sebagai contoh perlu dipilih ukuran *fuse* yang sesuai dengan kebutuhan, sehingga tidak terjadi kasus *fuse* putus diikuti dengan tripnya PMT. Jenis *fuse* yang terpasang di sepanjang penyulang WNI 01 adalah jenis letupan tipe K. Dan dari gambar 28 terlihat bahwa masing-masing *fuse* dapat berkoordinasi dengan baik.

Berdasarkan hasil perhitungan arus hubung singkat tampak bahwa bila terjadi gangguan hubung singkat didekat GI, maka relay akan kerja seketika, karena setting *instantaneousnya* hanya 2760 A untuk OCR dan 2080 A untuk GFR. Bila gangguan yang terjadi antar fasa maka PMT juga akan trip tanpa *reclose*, tetapi bila gangguan fasa ke tanah PMT trip dan masuk kembali (*reclose*) sesuai *setting*.

4. KESIMPULAN

1. Penyulang WNI 01 adalah SUTM yang mendistribusikan tenaga listrik pada tegangan 20kV. Penyulang ini beroperasi dengan sistem tiga fasa empat kawat dengan struktur radial/ring terbuka. Dalam pengamanan jaringan dibagi menjadi beberapa seksi pengamanan, dari GI dipasang relay arus lebih OCR/GFR dengan *setting* 480 A untuk OCR dan 240 A untuk GFR.
2. Berdasarkan hasil pengujian peralatan pengaman yang terpasang di sepanjang penyulang WNI 01 dapat bekerja sesuai dengan *setting*. *Recloser* bekerja dengan kurva lambat, baik untuk gangguan fasa maupun gangguan tanah.
3. PMT akan *reclose* bila gangguan yang terjadi adalah gangguan fasa ke tanah, untuk gangguan antar fasa PMT langsung *lock out*.
4. PBO akan *reclose* bila terjadi gangguan temporer, baik di jaringan utama maupun di tapping 1 fasa.
5. PBO akan bekerja terlebih dahulu atau *recloser* trip bersamaan dengan putusnya pelebur.
6. Terdapat koordinasi dengan baik dan aman untuk PMT dengan *recloser* sampai arus gangguan 2.880 A di sisi *recloser*. Namun untuk gangguan fasa di atas $8 \times I_s$ (3.840 A), maka rele OCR memberikan perintah ke PMT untuk bekerja lebih dulu (tidak terjadi koordinasi dengan baik).

5. SARAN

Untuk meningkatkan keandalan pendistribusian tenaga listrik, sesuai hasil evaluasi koordinasi relai pengaman di penyulang WNI 01, penulis memberikan saran kepada PT. PLN (Persero) ULP Wonogiri yaitu perlu dievaluasi secara berkala untuk setting proteksi seiring dengan adanya penambahan beban.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. PLN (Persero) Rayon Wonogiri yang telah banyak membantu dalam hal pendataan maupun kemudahan dalam pelaksanaan penelitian ini, sehingga penelitian ini berjalan sesuai rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Azis dan Irine Kartika Febrianti, 2019, Analisis Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Cendana Gardu Induk Bungaran Palembang, Jurnal Ampere, Volume 4, No 2, Desember 2019
- Arbiantoko Permadi Purnomo, 2017, Analisis Dan Perencanaan Sistem Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi Kelistrikan Pada Pelabuhan Teluk Lamong Surabaya, Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Dina Fitria, Muhammad Arif Maulana, 2020, Analisis Pembagian Zona Proteksi Pada Jaringan Distribusi 20 KV Penyulang Meranti GI.Bungaran Untuk Meningkatkan Pelayanan Ke Konsumen, Jurnal Ampere, Volume 5, No 2, Desember 2020.
- Dodi lukman, 2008, Evaluasi Koordinasi PBO dengan PMT Feeder 20 KV Palur 01 APJ Surakarta, artikel, Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang.
- Endan Budi Permana, Yudi Prana Hikmat , Supriyanto, 2021, Studi Proteksi Setting Arus Lebih pada PLTM Mikrogird Girimukti 20 kV Menggunakan Software ETAP 12.6.0, Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung, 4-5 Agustus 2021
- Erliwati, Syafii, dan Muhammad Nurdin, 2015, Koordinasi Sistem Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Distribusi 20 KV GI Pauh Limo, Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol: 4, No. 2, September 2015, ISSN: 2302 – 2949
- Jonatan Martino Windi Saputro, Bambang Winardi, dan Susatyo Handoko, 2018, Analisis Koordinasi Proteksi Relay OCR Dan Recloser Pada Penyulang SGN 04 Sanggrahan Menggunakan Etap 12.6.0, TRANSIENT, VOL. 7, NO. 2, JUNI 2018, ISSN: 2302-9927, 629
- Novi Gusti Pahiyanti dan Sigit Sukmajati, 2015, Proteksi Arus Lebih Pada Penyulang Lenguh (SKTM) Dan Penyulang Aum (SUTM), Jurnal Energi & Kelistrikan Vol. 7 No. 2, Juni - Desember 2015.
- Nugroho Agus Darmanto dan Susatyo Handoko, 2006, Analisa Koordinasi OCR – Recloser Penyulang Kaliwungu 03, Jurnal Transmisi, Vol. 11, No. 1, Juni 2006 : 15 – 21, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik., Universitas Diponegoro, Semarang.
- Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Puasanto, Iwan. 2006. *Pelatihan O&M Relai Proteksi Jaringan*. Jakarta: PT. PLN (Persero) P3B.