



Evaluasi Penambahan *Step* Relai Sbef Bay Transformator Daya 60 MVA Gi Mariana Palembang Dengan Etap 12.6.0

Yessi Marniati, Amira Fahirahanisa

Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia

E-mail: bulekpadang@yahoo.co.id

Informasi Artikel

Diserahkan tanggal:

22 Desember 2020

Direvisi tanggal:

10 Januari 2021

Diterima tanggal:

21 Januari 2021

Dipublikasikan tanggal:

31 Januari 2021

Digital Object Identifier:

10.21063/JTE.2021.31331010

Abstrak

Gangguan fasa-tanah biasanya terjadi dari gangguan pada penyulang yang terindikasi tidak seimbang. Untuk memperkecil daerah gangguan dilakukan penambahan *step* relai SBEF dari panel proteksi menuju panel incoming dan panel penyulang dengan kontaktor dan relai elektromekanis sebagai alat bantu penggerak kontak *trip*. Relai SBEF menggunakan karakteristik *long time inverse* (LTI), $k = 120$, $\alpha = 1$ dan $I_{Setting} 0,03xI_n$. Pengujian waktu kerja dalam tiga kondisi yakni 2xIset, 3xIset dan 5xIset dan fungsi relai SBEF. Pengujian dengan pemberian arus gangguan fasa-tanah yang melebihi arus *setting* untuk memberikan *order trip* ke PMT. Hasil evaluasi setelah penambahan *step* dilapangan dan simulasi pada *software* ETAP 12.6.0. Waktu kerja relai pada *step* I lebih cepat dari pada *step* II dan fungsi relai pada *step* I *order trip* ke PMT penyulang dan apabila gangguan meluas dilanjut *step* II *order trip* ke PMT sisi 20kV dan PMT sisi 150kV dengan adanya indikasi *trip* pada relai, *annunciator* dan *lockout*.



Kata kunci: Gangguan fasa-tanah, SBEF, Penambahan *step*, Waktu kerja dan Fungsi Relai

1. PENDAHULUAN

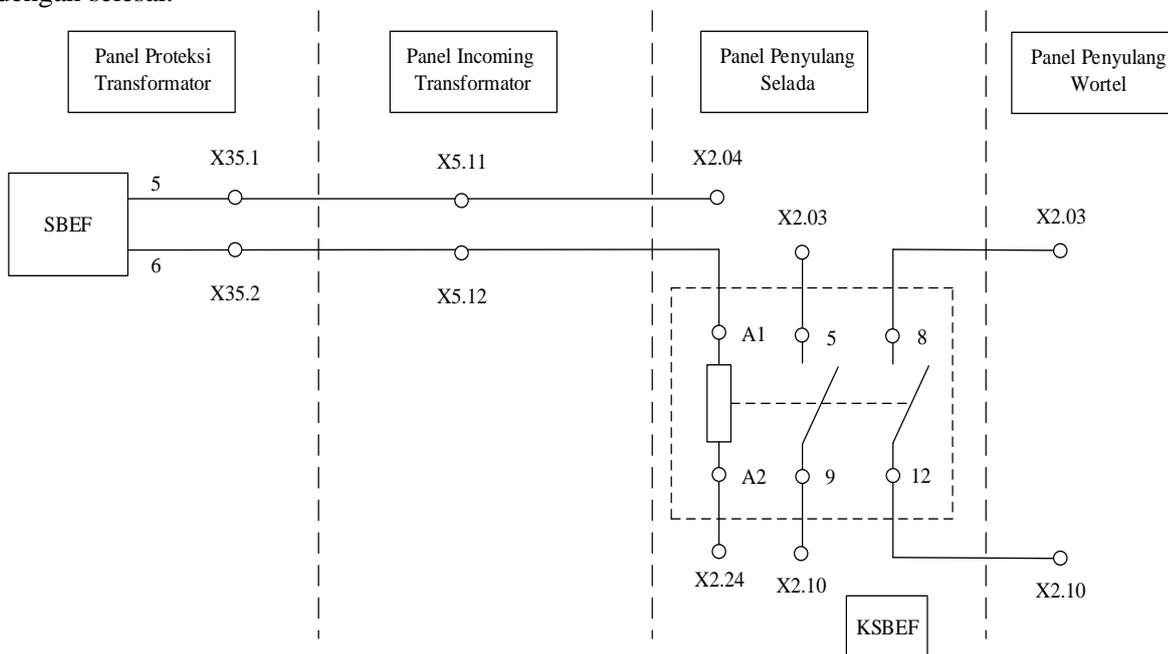
Sistem proteksi bertujuan untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian lain yang normal sekaligus mengamankan bagian yang masih baik dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Sistem proteksi terdiri dari relai proteksi, transformator arus (CT), pemutus tenaga (PMT), dan catu daya yang terintegrasi dalam suatu rangkaian. Dalam efektifitas dan efisiensi setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan ancaman ketahanan peralatan yang dilindungi sehingga peralatan proteksi digunakan sebagai jaminan pengaman [1]. Sistem proteksi bay transformator daya harus bersifat selektif, andal, sensitif, dan cepat sangat dibutuhkan untuk mengamankan peralatan-peralatannya. Bay merupakan rangkaian yang tersusun atas peralatan-peralatan pada gardu induk yang berguna sebagai rangkaian penyaluran. Pada bay transformator terdapat berbagai relai proteksi yakni *differensial*, *restricted earth fault* (REF), *over current relay* (OCR), *ground fault relay* (GFR) dan *standby earth fault* (SBEF).

Sistem proteksi pada bay transformator berkerja saat ada gangguan yang akan memberikan inputan berupa arus gangguan dari CT menuju relai dan catu daya dari baterai sebesar 110V DC akan memberikan energi yang *trigger* relai dengan memberikan informasi melalui led dan alarm serta memberikan perintah untuk mentriapkan rangkaian dengan membuka PMT apabila arus gangguan melebihi arus settingnya sehingga gangguan diamankan. Sistem proteksi dengan relai SBEF yang berfungsi mengamankan dari gangguan fasa-tanah dan mengamankan *neutral grounding resistor* (NGR) sebelum menuju ke transformator. Sistem proteksi SBEF awal hanya satu *step* yakni mengirim *order trip* ke PMT 150kV dan 20kV bila adanya gangguan fasa-tanah. Gangguan fasa-tanah biasanya terjadi dari penyulang yang terindikasi *unbalanced*. Maka, untuk memperkecil daerah gangguan dilakukan penambahan *step* relai SBEF yakni mengirim *order trip* ke PMT penyulang sehingga kinerja PLN yang terhitung dari 150kV dan *incoming* 20kV tetap terjaga keandalannya. Penambahan *step* pada relai SBEF yakni *order trip* yang pertama ke PMT penyulang dan apabila gangguan meluas dilanjut *order trip* yang kedua ke PMT sisi 20kV dan PMT sisi 150kV.

Dilakukannya penambahan *step* relai SBEF pada transformator daya 60MVA di GI Mariana ini bersangkutan dengan kasus gangguan pada transformator daya 30 MVA 150/20kV di GI Sungai Lilin pada tanggal 12 April 2019 jam 19.44 WIB. Gangguan ini dengan indikasi SBEF yang dikarenakan beban tidak seimbang akibat adanya gangguan di penyulang prambanan SUTM putus karena tersambar petir yang berkibat PMT 150kV dan PMT 20kV trip. Namun, penambahan ini juga merupakan program kerja guna memperkecil penyebaran apabila terjadi gangguan relai SBEF.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dan observatif yang dilaksanakan dengan tujuan memperoleh gambaran tentang “Evaluasi Penambahan *Step* Relai SBEF Pada Bay Transformator Daya 60 MVA di GI Mariana Palembang dengan ETAP 12.6.0”. Dalam evaluasi ini dilakukan dengan simulasi software ETAP 12.6.0 untuk melihat koordinasi dari relai yang akan memberikan sinyal trip ke PMT saat diberi gangguan serta karakteristik waktu kerja relai yang disesuaikan dengan data rasio CT, *pick up* dan waktu tunda relai. Penelitian dilaksanakan di GI Mariana Palembang pada tanggal 10 Maret 2020 sampai dengan selesai.



Gambar 1. Rangkaian penambahan *step* relai SBEF

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pengambilan data dan studi literature, Penulis melakukan pengambilan data berupa data transformator daya, transformator arus, relai SBEF, Pemutus tenaga dan gambar *single line diagram*. Simulasi penambahan *step* relai *Standby Earth Fault* (SBEF) pada bay transformator daya 60 MVA di GI Mariana ini akan menggunakan software ETAP 12.6.0. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan *single line diagram* pada software simulator. Melakukan sesi wawancara terhadap pegawai PLN mengenai sistem proteksi dan penambahan *step* relai *Standby Earth Fault* (SBEF) pada bay transformator daya 60MVA di GI Mariana.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil meliputi data pengujian waktu kerja dan pengujian fungsi relai SBEF di lapangan dengan alat uji ISA DRTS 64 pada software ISA S.r.1 Manual Control dan ETAP 12.6.0 dengan simulasi *coordination relay*. Data meliputi data awal dan setelah penambahan *step* pada relai SBEF di GI Mariana. Pada *step* awal transformator daya sebesar 16MVA arus gangguannya lebih dari $0,1xI_n$ dan setelah penambahan transformator di *upgrade* menjadi 60MVA arus gangguannya lebih dari $0,03xI_n$ Arus gangguan didapat dari nilai setting yang dikali $I_{nominal}$ dari rasio CT primer 1000A dan sekunder 5A.

3.1 Hasil Data Pengujian Waktu Kerja Relai SBEF di GI Mariana

Hasil data pengujian waktu kerja relai SBEF dengan merek schneider, tipe P142, nomor seri 39624041/08/17, rasio CT 1000/5, $I_{nominal}$ 5A dan karakteristik LTI.

Tabel 1. Hasil Data Pengujian Waktu Kerja Relai

| Step | TMS | $I_{Setting}$ (A) | Pickup (A) | Reset (A) | Deviasi (%) | Karakteristik Waktu (s) | | |
|------|------|----------------------|---------------|--------------|----------------|-------------------------|-------------|-------------|
| | | | | | | $2xI_{set}$ | $3xI_{set}$ | $5xI_{set}$ |
| Awal | 0,22 | 0,5 | 0,51 | 0,49 | 96 | 26,84 | 13,35 | 6,649 |
| I | 0,35 | 0,15 | 0,151 | 0,143 | 94,7 | 42,8 | 21,3 | 10,6 |
| II | 0,4 | 0,15 | 0,151 | 0,143 | 94,7 | 46,02 | 24,35 | 12,13 |

Pengujian waktu kerja relai SBEF di lapangan pada *step* awal hanya ada satu *step* dengan nilai TMS 0,22 dan $I_{Setting}$ 0,5A dari $0,1xI_{nominal}$. Setelah penambahan *step* menjadi dua *step* I dengan nilai TMS 0,35 dan *step* II dengan nilai TMS 0,4 kedua nilai $I_{Setting}$ nya 0,15A dari $0,1xI_{nominal}$. Pengujian terdiri atas pengambilan nilai *pickup*, *reset* dan waktu kerja sebanyak tiga keadaan $2xI_{set}$, $3xI_{set}$ dan $5xI_{set}$.

Tabel 2. Hasil Data Pengujian Waktu Kerja Relai SBEF di ETAP 12.6.0

| Step | TMS | $I_{Setting}$ (A) | Pickup (A) | Karakteristik Waktu (s) | | |
|------|------|----------------------|---------------|-------------------------|-------------|-------------|
| | | | | $3xI_{set}$ | $5xI_{set}$ | $8xI_{set}$ |
| Awal | 0,22 | 0,5 | 0,51 | 13,2 | 6,6 | 3,77 |
| I | 0,35 | 0,15 | 0,151 | 21 | 10,5 | 6 |
| II | 0,4 | 0,15 | 0,151 | 24 | 12 | 6,86 |

Pengujian waktu kerja relai SBEF di ETAP 12.6.0 pada *step* awal hanya ada satu *step* dengan nilai TMS 0,22 dan $I_{Setting}$ 0,5A dari $0,1xI_{nominal}$. Setelah penambahan *step* menjadi dua *step* I dengan nilai TMS 0,35 dan *step* II dengan nilai TMS 0,4 kedua nilai $I_{Setting}$ nya 0,15A dari $0,1xI_{nominal}$. Pengujian terdiri atas pengambilan nilai *pickup* dan waktu kerja sebanyak tiga keadaan $3xI_{set}$, $5xI_{set}$ dan $8xI_{set}$.

3.2 Hasil Data Pengujian Fungsi Relai SBEF di GI Mariana

Hasil data pengujian fungsi relai SBEF dengan merek schneider, tipe P142, nomor seri 39624041/08/17, rasio CT 1000/5, $I_{nominal}$ 5A dan karakteristik LTI.

Tabel 3. Hasil Data Pengujian Fungsi Relai SBEF

| Step | Indikasi | | PMT | | | Keterangan |
|------|--|--|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| | Relai | <i>Annunciator</i> | 150kV | 20kV | Penyulang | |
| Awal | Led dan alarm SBEF <i>trip</i> | Led dan alarm SBEF <i>trip</i> | Tidak <i>Trip</i> | <i>Trip</i> | Tidak <i>Trip</i> | Lockout 2 dan <i>annunciator</i> <u>berkerja dengan baik</u> . |
| I | Led dan alarm SBEF <i>Step I trip</i> | Led dan alarm SBEF <i>Step I trip</i> | Tidak <i>Trip</i> | Tidak <i>Trip</i> | <i>Trip</i> | Lockout 2 dan <i>annunciator</i> <u>berkerja dengan baik</u> |
| II | Led dan alarm SBEF <i>Step I trip</i> dan SBEF <i>Step II trip</i> | Led dan alarm SBEF <i>Step I trip</i> dan SBEF <i>Step II trip</i> | <i>Trip</i> | <i>Trip</i> | <i>Trip</i> | Lockout 2 dan <i>annunciator</i> <u>berkerja dengan baik</u> |

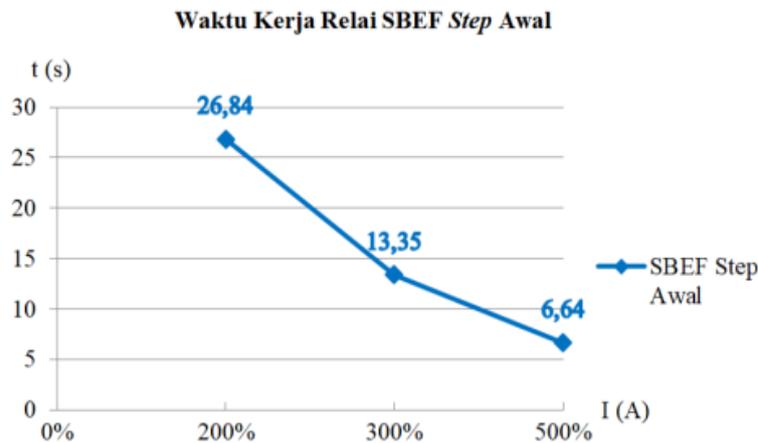
Pengujian fungsi relai SBEF yakni memberikan *order trip* ke PMT saat ada arus gangguan fasa-tanah yang melebihi arus *setting*nya yang mana akan terindikasi pada relai, *annunciator*, *lockout* dan PMT.

3.3 Analisa

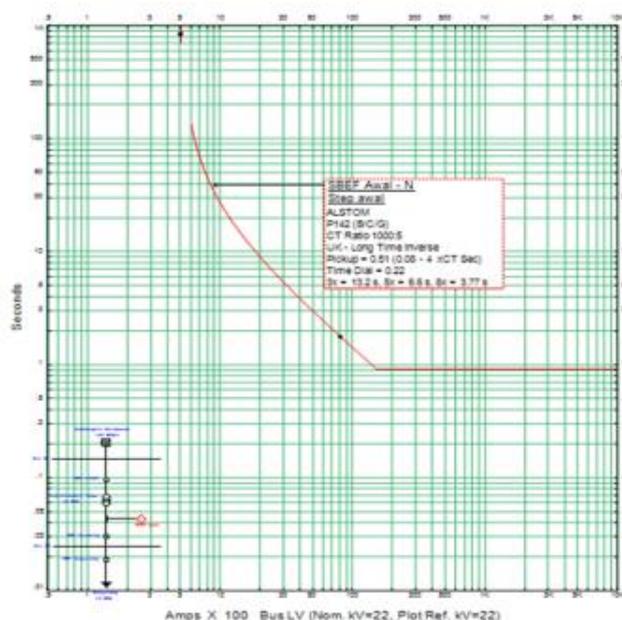
Pengujian waktu kerja dan pengujian fungsi relai SBEF *step* awal dan setelah penambahan *step*. Pengujian waktu kerja dan fungsi relai di lapangan dengan alat uji ISA DRTS 64 pada *software* ISA S.r.I *Manual Control* dilakukan dengan cara merangkai rangkaian CT, *supply* relai, rangkaian kontak *trip relay*

ke alat uji ISA DRTS 64 dengan *test plug* dan menghubungkan ke laptop dengan kabel hubung untuk *menginput* arus gangguan yang melebihi *settingnya* dan sudut pada *software ISA S.r.1 Manual Control*. Pada ETAP 12.6.0 dengan simulasi *coordination relay* yang menunjukkan *order trip* dari relai ke PMT dan waktu kerjanya sesuai *settingnya*. Hasil pengujian harus disesuaikan dengan standar yang berlaku sesuai SKDIR No.520 pada buku pedoman proteksi dan kontrol transformator. Standar pengujian karakteristik relai elektromekanik arus $\pm 10\%$, waktu kerja $\pm 5\%$, deviasi 95%-98% dari hasil uji dan hasil perhitungan. Waktu kerja relai *inverse* sesuai dengan karakteristik yang dipakai. Standar pengujian fungsi bahwa PMT *trip* dan *lockout* serta *annunciator* memberikan sinyal *alarm* maupun *led*.

Hasil pengujian waktu kerja dan fungsi relai SBEF *step* awal. Grafik waktu kerja relai SBEF *step* awal pada gambar 4.2 dan gambar 4.3 grafik waktu kerja relai SBEF *step* awal di ETAP 12.6.0



Gambar 2. Grafik Waktu kerja relai SBEF Step Awal



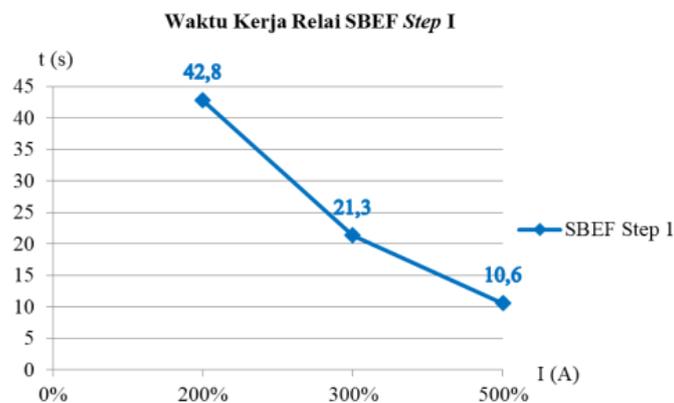
Gambar 3. Grafik waktu kerja relai SBEF *step* awal ETAP 12.6.0

Hasil pengujian waktu kerja relai dengan arus gangguan dari hasil pengukuran arus netral (I_N) gangguan fasa-tanah yang mana saat $I_F > I_{set}$ maka, akan mengirim sinyal *trip* ke PMT waktu kerjanya sebesar $2 \times I_{set}$ 26,84 detik, $3 \times I_{set}$ 13,35 detik dan $5 \times I_{set}$ 6,64 detik untuk SBEF *step* awal di lapangan dengan *software ISA S.r.1 Manual Control* dan $3 \times I_{set}$ 13,2 detik, $5 \times I_{set}$ 6,6 detik dan $8 \times I_{set}$ 3,77 detik di ETAP 12.6.0 dengan simulasi *coordination relay* hasilnya sesuai dengan hasil perhitungan $2 \times I_{set}$ 26,4 detik, $3 \times I_{set}$ 13,2 detik, $5 \times I_{set}$ 6,6 detik dan $8 \times I_{set}$ 3,77 detik. Pada grafik dapat dilihat bahwa semakin besar arus gangguan maka waktu kerja relai akan semakin cepat. Hal ini dikarenakan karakteristik relai ini LTI berkerja dengan adanya waktu tunda dikarenakan SBEF sebagai relai proteksi cadangan dalam mengamankan NGR sebelum menyebar luas ke transformator dari gangguan fasa-tanah apabila ada

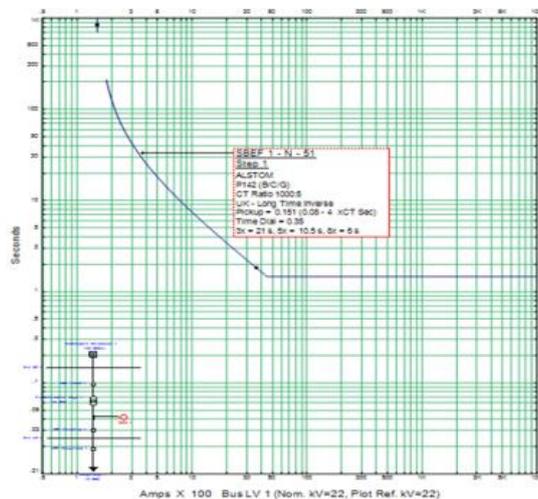
pengukuran arus netral (I_N) gangguan fasa-tanah. Pada karakteristik LTI, saat arus gangguan mencapai nilai arus *settingnya* (I_s) dan jangka waktu kerja relai mulai *pick up* sampai kerja relai diperpanjang 3berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Penyetelan waktu ditunjukkan dengan kurva yang sering digunakan dan disebut dengan T_d atau TMS dengan konstanta karakteristik waktunya $k = 120$ dan $\alpha = 1$.

Hasil dari perhitungan nilai *error* sebesar -2% sesuai standar dimana arus $\pm 10\%$ dan nilai deviasi sebesar 96% sesuai standar 95% - 98%. Hasil pengujian fungsi di ETAP 12.6.0 disajikan pada Tabel 4.4 berkerja dengan baik dimana adanya indikasi dari relai dan *annunciator* serta relai dapat mentripkan PMT *incoming* 20kV saat ada arus gangguan. Hasil pengujian waktu kerja dan fungsi relai SBEF *step* I pada bay transformator daya 60 MVA di GI Mariana berkerja dengan baik yang mana memberikan perintah *order trip* ke PMT *incoming* 20kV saat adanya gangguan fasa-tanah dari pengukuran arus netral (I_N).

Hasil pengujian waktu kerja dan fungsi relai SBEF setelah penambahan *step* yang menjadi dua *step* dan grafik waktu kerja relai SBEF *step* I di pada gambar 4.4 dan grafik waktu kerja relai SBEF *step* I di ETAP 12.6.0 pada gambar 4.5.



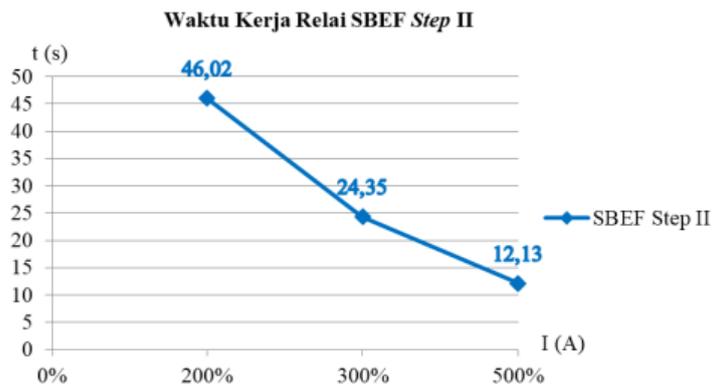
Gambar 4. Grafik Waktu kerja relai SBEF Step I



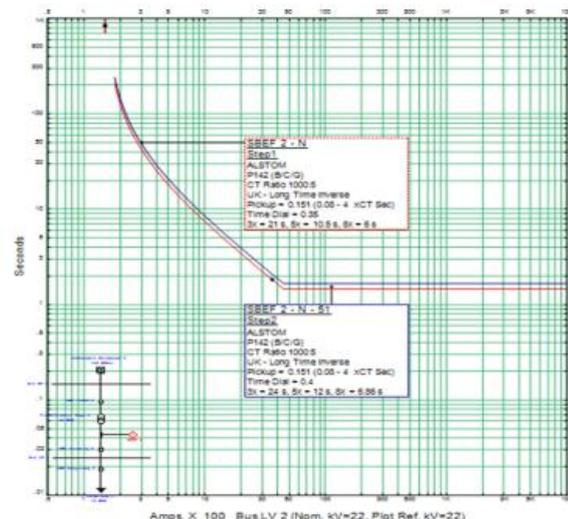
Gambar 5. Grafik waktu kerja relai SBEF *step* 1 ETAP 12.6.0

Hasil pengujian waktu kerja relai dengan arus gangguan dari hasil pengukuran arus netral (I_N) gangguan fasa-tanah yang mana saat $I_F > I_{set}$ maka, akan mengirim sinyal *trip* ke PMT waktu kerjanya sebesar $2 \times I_{set}$ 42,8 detik, $3 \times I_{set}$ 21,3 detik dan $5 \times I_{set}$ 10,6 detik untuk SBEF *step* I di lapangan dengan *software ISA S.r.1 Manual Control* dan $3 \times I_{set}$ 21 detik, $5 \times I_{set}$ 10,5 detik dan $8 \times I_{set}$ 6 detik di ETAP 12.6.0 dengan simulasi *coordination relay* hasilnya sesuai dengan hasil perhitungan $2 \times I_{set}$ 42 detik, $3 \times I_{set}$ 21 detik, $5 \times I_{set}$ 10,5 detik dan $8 \times I_{set}$ 5,99 detik. Pada grafik dapat dilihat bahwa semakin besar arus gangguan maka waktu kerja relai akan semakin cepat. Hal ini dikarenakan karakteristik relai ini LTI berkerja dengan adanya waktu tunda dikarenakan SBEF sebagai relai proteksi cadangan dalam mengamankan NGR sebelum menyebar luas ke transformator dari gangguan fasa-tanah apabila ada

pengukuran arus netral (I_N) gangguan fasa-tanah. Pada karakteristik LTI, saat arus gangguan mencapai nilai arus *settingnya* (I_s) dan jangka waktu kerja relai mulai *pick up* sampai kerja relai diperpanjang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Penyetelan waktu ditunjukkan dengan kurva yang sering digunakan dan disebut dengan Td atau TMS dengan konstanta karakteristik waktunya $k = 120$ dan $\alpha = 1$. Hasil dari perhitungan nilai *error* sebesar -0,667% sesuai standar dimana arus $\pm 10\%$ dan nilai deviasi sebesar 94,7% masih sesuai standar 95% - 98%. Hasil pengujian fungsi di ETAP 12.6.0 terlihat pada Tabel 4.5 berkerja dengan baik dimana adanya indikasi dari relai dan *annunciator* serta relai dapat *mentripkan* PMT penyulang saat ada arus gangguan. Hasil pengujian waktu kerja dan fungsi relai SBEF *step I* pada bay transformator daya 60 MVA di GI Mariana berkerja dengan baik yang mana memberikan perintah *order trip* ke PMT penyulang saat adanya gangguan fasa-tanah dari pengukuran arus netral (I_N).



Gambar 6. Grafik Waktu kerja relai SBEF Step II



Gambar 7. Grafik waktu kerja relai SBEF *step II* ETAP 12.6.0

Hasil pengujian waktu kerja relai dengan arus gangguan dari hasil pengukuran arus netral (I_N) gangguan fasa-tanah yang mana saat $I_F > I_{set}$ maka, akan mengirim sinyal *trip* ke PMT waktu kerjanya sebesar $2 \times I_{set}$ 46,02 detik, $3 \times I_{set}$ 24,35 detik dan $5 \times I_{set}$ 12,13 detik untuk SBEF *step II* di lapangan dengan *software ISA S.r.1 Manual Control* dan sebesar $3 \times I_{set}$ 24 detik, $5 \times I_{set}$ 12 detik dan $8 \times I_{set}$ 6,86 detik di ETAP 12.6.0 dengan simulasi *coordination relay* hasilnya sesuai dengan hasil perhitungan $2 \times I_{set}$ 48 detik, $3 \times I_{set}$ 24 detik, $5 \times I_{set}$ 12 detik dan $8 \times I_{set}$ 6,85 detik. Pada grafik dapat dilihat bahwa semakin besar arus gangguan maka waktu kerja relai akan semakin cepat. Hal ini dikarenakan karakteristik relai ini LTI berkerja dengan adanya waktu tunda dikarenakan SBEF sebagai relai proteksi cadangan dalam mengamankan NGR sebelum menyebar luas ke transformator dari gangguan fasa-tanah apabila ada pengukuran arus netral (I_N) gangguan fasa-tanah. Pada karakteristik LTI, saat arus gangguan mencapai nilai arus *settingnya* (I_s) dan jangka waktu kerja relai mulai *pick up* sampai kerja relai diperpanjang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Penyetelan waktu ditunjukkan dengan kurva yang sering digunakan dan disebut dengan Td atau TMS dengan konstanta karakteristik waktunya $k = 120$ dan

$\alpha = 1$. Hasil dari perhitungan nilai *error* sebesar -0,667% sesuai standar dimana arus $\pm 10\%$ dan nilai deviasi sebesar 94,7% masih sesuai standar 95% - 98%. Hasil pengujian fungsi relai SBEF *step II* dilapangan terlihat pada Tabel 4.2 berkerja dengan baik dimana adanya indikasi dari relai dan *annunciator* saat gangguan dari penyulang meluas dapat *mentripkan* PMT 150kV dan PMT *incoming* 20kV saat ada arus gangguan serta pengujian fungsi di ETAP 12.6.0 disajikan pada gambar 4.7. Hasil pengujian waktu kerja dan fungsi relai SBEF *step II* pada bay transformator daya 60 MVA di GI Mariana berkerja dengan baik yang mana memberikan perintah *order trip* ke PMT 150kV dan PMT *Incoming* 20kV saat adanya gangguan fasa-tanah dari pengukuran arus netral (I_N).

4. KESIMPULAN

Pemasangan penambahan *step* relai SBEF yakni *step I* untuk memberikan *order trip* ke PMT penyulang dengan menarik dua kabel dari *binary output* pada relai SBEF di panel proteksi menuju panel *incoming* dan panel penyulang dengan bantuan kontaktor dan relai elektromekanis untuk alat bantu penggerak kontak *trip*. Pada pengujian dan fungsi relai SBEF dilakukan dengan cara merangkai rangkaian CT, *supply* relai, rangkaian kontak *trip* relai ke alat uji ISA DRTS 64 dengan *test plug* dan menghubungkan ke laptop dengan kabel hubung untuk menginput arus gangguan yang melebihi *settingnya* dan sudut pada *software ISA S.r.l Manual Control* di lapangan. Pada ETAP 12.6.0 dengan simulasi *coordination relay*. Karakteristik relai LTI, $k = 120$ dan $\alpha = 1$. SBEF *Step I* pengujian waktu kerja relai sebesar 2xIset 42,8 detik, 3xIset 21,3 detik dan 5xIset 10,6 detik untuk SBEF *step I* di lapangan dan 3xIset 21 detik, 5xIset 10,5 detik dan 8xIset 6 detik di ETAP 12.6.0. Hasil pengujian fungsi berkerja dalam memberikan *order trip* ke PMT penyulang serta adanya indikasi pada relai, *annunciator* dan *lockout*. SBEF *Step II* pengujian waktu kerja relai 2xIset 46,02 detik, 3xIset 24,35 detik dan 5xIset 12,13 detik untuk SBEF *step II* di lapangan dan 3xIset 24 detik, 5xIset 12 detik dan 8xIset 6,86 detik di ETAP 12.6.0. Hasil pengujian fungsi berkerja dalam memberikan *order trip* ke PMT penyulang, PMT *incoming* dan PMT 150kV serta adanya indikasi pada relai, *annunciator* dan *lockout*.

Perbandingan dari *step* awal dan setelah penambahan *step* relai *Standby Earth Fault* (SBEF) di GI Mariana. Pada *step* awal relai hanya memiliki satu *step* yaitu memberikan *order trip* kepada PMT *incoming* 20kV. Setelah penambahan *step* relai memiliki dua *step* yakni *step I* memberikan *order trip* ke PMT penyulang dan apabila gangguan meluas *step II* akan berkerja memberikan *order trip* ke PMT 150kV dan PMT *incoming* 20kV saat ada gangguan fasa-tanah. Hal ini dikarenakan gangguan fasa tanah biasanya terjadi dari penyulang yang terindikasi *unbalanced*. Maka, untuk memperkecil daerah gangguan digunakan penambahan *step* relai SBEF agar apabila gangguan hanya di penyulang maka PMT 150kV dan PMT *incoming* 20kV tidak perlu ditripkan sehingga lebih efisien saat penormalan dan kinerja PLN yang terhitung dari 150kV dan *incoming* 20kV tetap terjaga keandalannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Amalia, Devita., & Ariyanto, Eko, "Optimalisasi Pengukuran Arus oleh Current Transformer untuk Meminimalisir Susut Energi pada Pabrik Baja PT.Inti General Yaja Steel Daerah Semarang Barat", Gema teknologi, Vol.18, No.1 April-Oktober 2014
- [2]. Anwar, Salwin, "Variabel Tegangan Terhadap Hasil Electroplating Pada Alat Penyepuh Logam". Jurnal Poli Rekayasa, Vol.4, No.1, Oktober 2008
- [3]. Cekdin, Cekmas., & Barlian, Taufik. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta: Andi
- [4]. Dermawan, Erwin., & Nugroho, Dimas, "Analisa Koordinasi Over Current Relay dan Ground Fault Relay di Sistem Proteksi Feeder Gardu Induk 20 kV Jababeka". Jurnal Elektum, Vol.14, No. 2, Juni 2013
- [5]. Gunawan, Samuel Marco., & Santosa, Julius, "Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan". Jurnal Dimensi Teknik Elektro, Vol. 1, No. 1, 2013
- [6]. Hermawan, Ahmad, "Analisis Terhadap Performance Sistem Tenaga Listrik Memakai Metode Aliran Daya". Jurnal ELTEK, Vol. 11, No. 1, April 2013
- [7]. Jacobus, Liefson., & Gulo, Dewi Kristina, "Rancang Bangun Teslameter Dengan Metode Induksi". JTI UKRIM, Vol.6, No.2, 2014
- [8]. Kusuma, Indra Sukma Sari., Putu, Trisnawati Ni Luh Putu., & Nengah, Artawan I, "Studi Pengaruh Medan Magnet Terhadap Jumlah Sel Darah Merah (Eritrosit) Pada Tikus Putih (*Rattusnprvegicus*)". Buletin Fisika, Vol.15, No.1, Februari 2014

- [9]. Manulang, Verta Asi., Sirait, Bonar., & Purwoharjo, “*Analisis Sistem Pembumian Netral Generator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Sei.Batu 2x8,5 MW Sanggau*”, 2018
- [10]. Nasution, Elvy Shanur., Pasaribu, Faisal Irsan., Yusniati., & Arfianda, Muhammad, “*Relai Diferensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Pada Gardu Induk*”. Regional Development Industri & Health Science, Technology and Art of Life, Vol.2, No.1, 2019
- [11]. Pandjaitan, Bonar. 1999. *Teknologi Sistem Pengendalian Tenaga Listrik Berbasis SCADA*. Jakarta: Perhalindo
- [12]. Pramono, Tri Joko., Erlina., Soewono, Soetjipto., & Fatimah, “*Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah Dengan Menggunakan Simulasi Program ETAP*”. Jurnal Energi & Kelistrikan, Vol.10, No.1, Juni 2018
- [13]. Prasetyo, Wahyu Adi., & Winarno, Heru, “*Simulator Kubikel Minimum Untuk Investigasi Gangguan Scada Sistem Distribusi Tenaga listrik 20kV*” Gema Teknologi, Vol.17, No. 4, Oktober 2013-April 2014
- [14]. Rida, Al Khalik., & Firdaus, “*Evaluasi Koordinasi Relay Arus Lebih (OCR) dan Gangguan Tanah (GFR) pada Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru*”. Jom FTEKNIK, Vol.3, No.1, Februari 2016
- [15]. Schneider Electric. 2014. *MiCOM P14x Feeder Mangement Relai Technical Manual*. France
- [16]. Setijasa, Hery, “*Pengujian Relai Diferensial GI*”. Jurnal Teknik Energi, Vol.9, No. 2, Juni 2013
- [17]. Sinaga, Rusman, “*Studi Kelayakan Praktek Perancangan Instalasi Mesin Listrik Pada Laboratorium Mesin-mesin Listrik Politeknik Negeri Kupang*”. Jurnal Ilmiah Flash, Vol.4, No.1, Juni 2018
- [18]. Siregar, Rizky Syahputra., & Harahap, Raja, “*Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban*”. Journal of Electrical Technology, Vol.2, No.3, Oktober 2017
- [19]. Sutarti, “*Analisa Perhitungan Setting Arus dan Waktu Pada Relai Arus Lebih (OCR) Sebagai Proteksi Transformator Daya di Gardu Induk Cawang Lama Jakarta*”. Jurnal Sains dan Teknologi, Vol.9, No. 1, Maret 2010
- [20]. Tenda, Novendry, “*Penyusutan Daya Listrik Pada Penyulang Jaringan Transmisi Isimu Marisa*”. E-Journal Teknik Elektro dan Komputer, Vol.5, No. 1, Januari-Maret 2016
- [21]. Tim Penyusun SKDIR 0520.2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester*. Jakarta Selatan.