

KOORDINASI PENGAMAN *HIGH SET 2ND STAGE* PADA RELE *OVER CURRENT* SISI SEKUNDER TRAF0 DAYA 150 / 20 KV

Agus Buchari
1010622009

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Jember
agusbuchari3@gmail.com

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Rusgianto, M.M.

Dosen Pembimbing II
Sumardi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Sistem Tenaga Listrik merupakan sebuah sistem yang terdiri dari 3 bagian yaitu Pembangkitan, Penyaluran dan Distribusi. Ketiga bagian tersebut bekerja secara terkait satu sama lain, apabila salah satu bagian mengalami gangguan maka sistem penyaluran tenaga listrik ke pelanggan atau konsumen akan terganggu. Pada Tugas Akhir ini Saya akan membahas tentang Koordinasi Pengaman High Set 2nd stage pada rele *Over Current* Sisi Sekunder Trafo Daya 150/20 kV terkait semakin banyaknya Trafo rusak karena arus gangguan yang cukup tinggi di sisi sekunder.

Kata kunci : *High Set 2nd stage, Over Current Relay.*

I. PENDAHULUAN

Sistem ketenagalistrikan di Jawa – Bali merupakan rangkaian penyaluran tenaga listrik yang dimulai dari sistem Pembangkitan yang kemudian disalurkan / ditransmisikan oleh P3B (Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban) dan yang terakhir yaitu pendistribusian (Distribusi) ke konsumen – konsumen.

Jadi ketiga sektor itulah yang memiliki peranan penting dalam hal penyaluran sistem tenaga listrik. Dalam menyalurkan tenaga listrik, ketiga sektor itu tidak beroperasi secara individu melainkan bekerja secara bersama – sama. Apabila salah satu mengalami gangguan maka proses penyaluran tenaga listrik akan terhambat.

Level tegangan operasi pada PLN dibagi menjadi 3 bagian yaitu 500 kV Tegangan Extra Tinggi (TET), 150 kV Tegangan Tinggi (TT) dan 20 kV Tegangan Menengah (TM). Proses penyaluran tenaga listrik tidak lepas dari sebuah Transformator Tenaga yang mempunyai peranan mentransformasikan tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya dengan daya yang tetap.

Usia trafo yang terpasang di Gardu Induk rata – rata diatas 20 tahun, intensitas dan besarnya arus gangguan yang cukup tinggi di sisi sekunder akan sangat mempengaruhi ketahanan isolasi dan usia trafo itu sendiri. Dalam tugas akhir ini Penulis mencoba menganalisa tentang Koordinasi Pengaman *High Set 2nd stage* pada rele *Over Current* sisi sekunder Trafo 150/20 kV..

II. METODE PENELITIAN

Metodologi yang dipakai dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

1. Pengumpulan Data Gangguan

Mengumpulkan data – data gangguan yang mengakibatkan Trafo mengalami kerusakan.

2. Pengumpulan Data Setting Trafo.

Mengumpulkan data setting existing rele *Over Current* Sekunder yang kemudian akan dibandingkan dan digabungkan dengan setting *high set 2nd stage*.

3. Pemilihan Karakteristik Waktu Setting High Set.

Mempelajari jenis-jenis karakteristik waktu *Over Current* yang tepat untuk diterapkan di setting *high set 2nd stage*.

III. PEMBAHASAN

3.1 Kemampuan Trafo Terhadap Beban Lebih (Overload)

Sesuai standar internasional IEC 354 tahun 1991 diijinkan untuk membebani trafo melebihi nilai pengenalan seperti yang disebutkan pada papan nama (name plate). Namun disadari bahwa pembebanan lebih tersebut akan mengurangi umur trafo dan pengurangan umur tersebut tidak dapat ditetapkan secara akurat hanya dengan mengandalkan data operasi rutin. Memperhatikan *suhu sekitar* rata-rata (ambient temperature) yang lebih tinggi dari nilai standar serta faktor umur, maka kemampuan trafo menjadi lebih rendah dari nilai pengenalan pada name plate.

3.2 Ketahanan Trafo Terhadap Gangguan Hubung Singkat Eksternal

Dalam melakukan koordinasi pengaman trafo, dampak termis dan mekanis sebagai akibat dari arus gangguan eksternal perlu diperhatikan. Untuk arus gangguan rendah yang mendekati julud (range) beban-lebih, pengaruh mekanis

kurang diperhitungkan, kecuali bila jumlah gangguan eksternal tersebut cukup tinggi. Pada arus gangguan yang mendekati batas kemampuan desain trafo, dampak mekanis lebih dominan dibandingkan dengan pengaruh termis.

Menurut standar internasional IEC_60076-5 point 4.1.3, ketahanan trafo terhadap gangguan hubung singkat eksternal adalah 2 detik.

“The Duration of the Current I to be used for the calculation of the thermal ability to withstand short circuit shall be 2 s unless a different duration is specified.”

Note : for auto transformer and for transformer with short circuit exceeding 25 times the rated circuit, a short circuit duration below 2 s may be adopted by agreement the manufacturer and the purchaser.”

“ Durasi dari arus gangguan yang akan digunakan untuk perhitungan kemampuan termal untuk menahan arus hubung singkat harus 2s kecuali durasi yang berbeda ditentukan.

Catatan : untuk auto transformator dan transformator dengan gangguan arus hubung singkat melebihi 25 kali dari kemampuan nominal, durasi arus hubung singkat di bawah dapat diperoleh dari perjanjian antara produsen dengan pembeli “.

Menurut standar internasional IEEE C57.12.00-2000 tentang Standard General Requirements for Liquid-immersed Distribution, Power and Regulating Transformers point 7.1.3 (durasi arus hubung singkat). Bahwa Transformator 3 fasa golongan II, III dan IV yaitu diatas 501 kVA durasi arus hubung singkat dibatasi sebesar 2 detik, kecuali pada kondisi tertentu durasi arus hubung singkat ditentukan oleh pengguna.

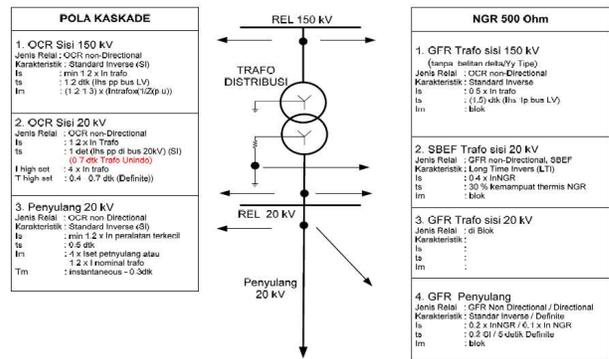
“For Category II, III, and IV units, the duration of the short-circuit current as defined in 7.1.4 is limited to 2 s, unless otherwise specified by the user.”

“Untuk kategori II, III dan IV, durasi dari arus hubung singkat sebagaimana didefinisikan dalam 7.1.4 dibatasi 2s, kecuali ditentukan lain oleh pengguna “.

Walaupun ketahanan trafo terhadap arus hubung singkat eksternal dalam standar internasional ditetapkan 2 detik tetapi mempertimbangkan usia trafo, maka waktu kerja relai Over Current di sisi incoming untuk gangguan di rel 20 kV ditentukan 1 detik (kecuali kondisi tertentu yang disepakati). Sampai batas tertentu arus gangguan hubung singkat eksternal akan menyebabkan penurunan umur sebagai akibat pengaruh termis. Namun diatas batas tersebut pengaruh termis bersamaan dengan pengaruh dinamis akan menyebabkan penurunan umur trafo secara progresif dan penurunan tersebut akan dipercepat lagi bila jumlah gangguan makin tinggi.

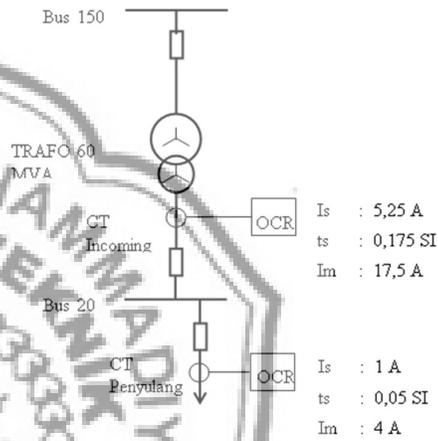
ANSI/IEEE C57.109-1993 merekomendasikan bahwa untuk arus gangguan yang besarnya melebihi atau sama dengan 50% dari gangguan maksimum ($\geq 0.5 I_n/X_t$), maka waktu pemutusan gangguan harus dipercepat (tidak lagi mengikuti karakteristik termis trafo).

Dibawah ini merupakan hasil kesepakatan bersama sistem proteksi Trafo antara P3B dengan Distribusi pada tahun 2012 untuk wilayah Jawa Timur:



Gambar 4.1 Kesepakatan bersama sistem proteksi Jawa Timur

3.3 Setting Existing Rele Proteksi Trafo

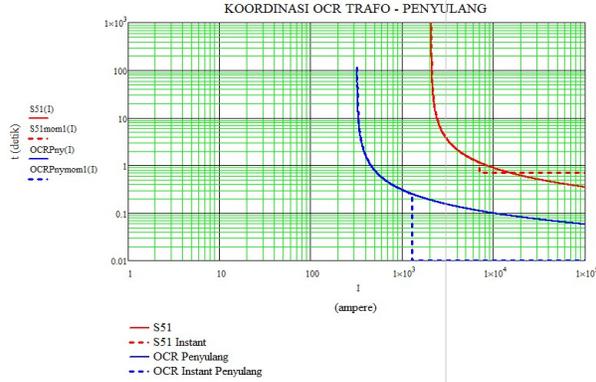


Diatas merupakan contoh setting rele existing *Over Current* Incoming dan rele penyulang untuk Trafo Daya 60 MVA. Masing-masing rele pengamanan masih menggunakan 2 tahap / level pengamanan, yaitu tahap pertama menggunakan karakter time delay dan tahap kedua menggunakan karakter time instant (moment).

Karakter setting waktu tahap kedua untuk rele pengamanan *Over Current* Incoming menggunakan karakter Definite yaitu sebesar 0,7 detik. Pemilihan setting waktu Definite 0,7 detik rele *Over Current* Incoming untuk memberikan kesempatan rele Penyulang untuk mengamankan gangguan terlebih dahulu (apabila gangguan terjadi di wilayah kerja rele Penyulang).

Sedangkan apabila terjadi gangguan di sekitar bus 20 kV dengan arus gangguan tinggi dan sudah masuk pada setting Moment, maka rele *Over Current* Incoming akan bekerja selama 0,7 detik. Bekerjanya rele *Over Current* Incoming dengan tunda waktu 0,7 detik dan besarnya intensitas gangguan di sisi penyulang, secara tidak langsung akan mempengaruhi ketahanan isolasi dan usia dari trafo itu sendiri.

Kurva koordinasi proteksi rele *Over Current* S51 dan rele Penyulang :

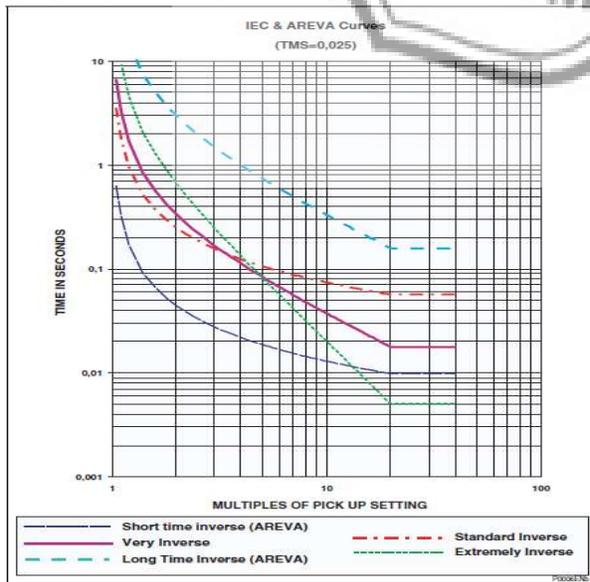


Gambar 4.2 Kurva koordinasi proteksi proteksi rele *Over Current* S51 dan rele Penyulang existing

3.4 Penentuan setting High Set 2nd Stage.

Setting existing rele *Over Current* Incoming Trafo dan rele *Over Current* Penyulang secara teori sudah cukup handal dan aman untuk diterapkan di sistem proteksi Trafo saat ini. Akan tetapi seiring berkembangnya jumlah pembangkit dan beban konsumen, setting existing tidak cukup handal dan aman untuk Trafo. Hal ini terkait dengan semakin besarnya arus hubung singkat (I_{sc}) dan tingkat kehandalan system proteksi itu sendiri.

Untuk mengamankan Trafo dari arus hubung singkat (I_{sc}) yang tinggi dan memperpendek durasi Trafo menahan arus gangguan perlu ditambahkan setting tahap kedua (2nd Stage). Setting waktu high set di rele *Over Current* Incoming saat ini yaitu sebesar 0,7 detik (definite), sedangkan untuk setting karakteristik waktu pada tahap kedua diharapkan agar lebih cepat dari 0,7 detik (pada arus gangguan tertentu) dan tidak lebih cepat dari waktu instant (0 – 0,1 detik). Sesuai dengan yang telah dibahas pada Bab 3 yaitu tentang jenis karakteristik waktu rele *Over Current*, karakteristik jenis STI (Short Time Inverse) yang lebih tepat untuk diterapkan pada setting waktu High Set 2nd Stage.



Gambar 4.3 Kurva 5 karakteristik *Time Multiple Setting*

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa dari 5 karakter kurva tersebut jika setting waktu (TMS) dan besar arus gangguan sama, maka waktu kerja yang paling cepat yaitu karakter kurva *Short Time Inverse*.

Untuk penentuan waktu setting High Set 2nd Stage ini perlu dikoordinasikan dengan setting High Set 1st Stage yaitu sebesar 4 x I_{nom} Trafo dengan tunda waktu sebesar 0,7 detik, hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi overlapping pada saat terjadi gangguan. Sesuai kesepakatan bersama antara P3B Jawa Bali dengan Distribusi tentang pengelolaan sistem proteksi Trafo dengan Penyulang, rentang setting waktu untuk setting moment di rele *Over Current* Incoming sebesar 0,4 – 0,7 detik. Sehingga untuk penentuan setting waktu High Set 2nd Stage yaitu maksimal 0,4 detik pada saat merasakan arus gangguan sebesar 6 x I_{nom} Trafo dengan setting arus 4 x I_{nom} Trafo.

Dibawah ini perhitungan untuk menentukan setting arus dan waktu untuk High Set 2nd Stage :

1. Data Trafo Tenaga

Daya	P := 60	MVA
Tegangan Primer	Vp := 150	kV
Tegangan Sekunder	Vs := 20	kV
Impedansi Trafo	Zt := 10.32	%
NGR	NGR := 500	Ohm

Arus Nominal Trafo

Arus Primer

$$I_p := \frac{P \cdot 10^3}{V_p \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_p = 230.94 \text{ A}$$

Arus Sekunder

$$I_s := \frac{P \cdot 10^3}{V_s \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_s = 1.732 \times 10^3 \text{ A}$$

Setting Rele OCR Sekunder

$$I_{setS51} = 1,2 \times I_s$$

$$I_{setS51} = 2,078 \times 10^3 \text{ A}$$

$$t_{setS51} = 0,2 \text{ SI}$$

$$I_{setS51mom1} = 4 \times I_s$$

$$I_{setS51mom1} = 6,928 \times 10^3 \text{ A}$$

$$t_{setS51mom1} = 0,7 \text{ s}$$

$$t_{setS51mom2} := \frac{\left(\frac{6 \cdot I_s}{I_{setS51mom1}} \right)^{0.04} - 1}{0.05} \cdot 0.4$$

$$tsetS51mom2 = 0.131$$

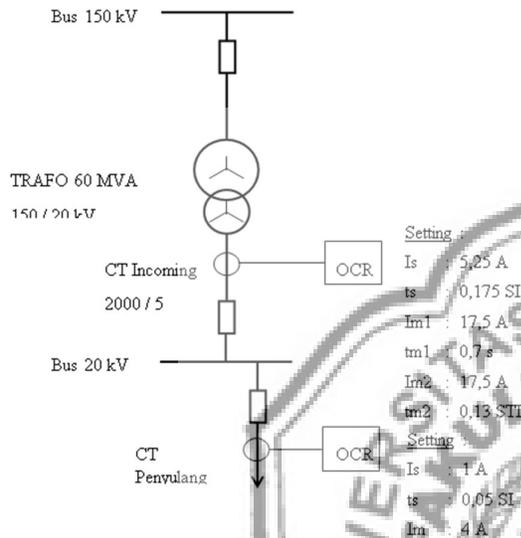
dipilih : 0.13 STI

Jadi untuk setting yang akan diterapkan pada High Set 2nd Stage yaitu :

I set : 4 x I nominal trafo

t set : 0,13 STI

3.5 Koordinasi rele Proteksi Trafo dengan Penyulang setelah High Set 2nd Stage diterapkan



KURVA KOORDINASI OCR

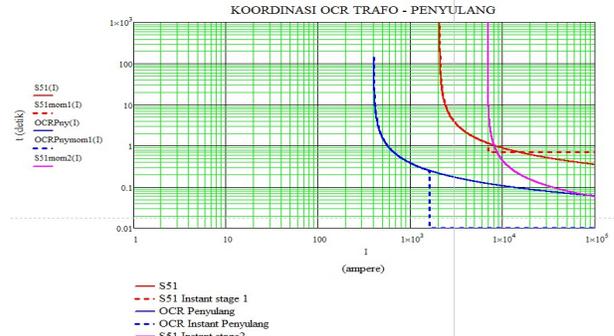
$$S51(I) := \frac{tsetS51 \cdot 0.14}{\left(\frac{I}{IsetS51}\right)^{0.02} - 1}$$

$$OCRPNy(I) := \frac{tsetPny \cdot 0.14}{\left(\frac{I}{IsetPny}\right)^{0.02} - 1}$$

$$S51mom1(I) := \text{if}(I \leq IsetS51mom1, S51(I), tsetS51mom1)$$

$$OCRPNymom1(I) := \text{if}(I \leq IsetPnymom1, OCRPNy(I), tsetPnymom1)$$

$$S51mom2(I) := \frac{tsetS51mom2 \cdot 0.05}{\left(\frac{I}{IsetS51mom2}\right)^{0.04} - 1}$$



Kurva koordinasi proteksi proteksi rele *Over Current* S51 dan rele Penyulang

setelah setting high set 2nd Stage diterapkan

3.6. Perhitungan ketahanan Trafo setelah setting baru diterapkan

Kemampuan ketahanan Trafo akan berkurang secara bertahap oleh penurunan yang disebabkan *overheating* (pemanasan yang berlebih) dari komponen – komponen isolasi di dalam Trafo. Tingkat stress sebuah Trafo meningkat seiring dengan bertambahnya beban dan meningkatnya arus hubung singkat. Dibawah ini merupakan contoh kurva ketahanan Trafo yang mengalami penurunan *life time* (usia).

Di standar IEEE C57.12 dijelaskan bahwa penurunan kemampuan Trafo dapat dipredikasi dengan mengikuti persamaan dibawah ini :

$$k = I^2 t$$

dimana ;

k : nilai konstanta yang didefinisikan pada arus gangguan dalam waktu 2 s

I : arus gangguan maksimal

t : durasi gangguan

Jika terjadi beberapa gangguan, maka persamaannya sebagai berikut :

$$ISQT = (I^2 t) \cdot \Sigma SC \text{ Fault}$$

dimana ;

I : arus gangguan maksimal

t : durasi gangguan

ESC Fault : jumlah gangguan

Jadi dengan rumus perhitungan diatas, dapat diketahui berapa durasi dari usia sebuah Trafo. Dengan diterapkannya setting waktu yang baru pada rele *Over Current* sisi 20 kV maka akan dapat mengurangi durasi gangguan pada arus hubung singkat maksimal. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan durasi arus hubug singkat menggunakan setting existing (lama) dan setting yang baru.

Data

S : 60.000 KVA I_{sc} : 13.000 A TMS : 0,13 STI

V_s : 20 kV t : 2 s X : 1 kali gangguan

XT : 12 % t₁ : 0,7 s $InomS := \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_s}$

I_{set} : 4 x InomS

$$t_2 := \left[\frac{0.05}{\left(\frac{I_{sc}}{I_{set}} \right)^{0.04} - 1} \right] \cdot TMS$$

Constant k (normal withstand capability)

$$k := \left(\frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_s \cdot \frac{XT}{100}} \right)^2 \cdot 2$$

k : 4,167 x 10⁸ kA²s

Formulasi akumulasi I²t

ISQT1 : (I_{sc}² x t₁) . X ISQT1 = 1,183 x 10⁸ kA²s

ISQT2 : (I_{sc}² x t₂) . X ISQT2 = 4,309 x 10⁷ kA²s

$Y_1 := \frac{k}{ISQT1}$ Y₁ = 3.522 Kali

$Y_2 := \frac{k}{ISQT2}$ Y₂ = 9.67 Kali

Keterangan :

- S : Kapasitas Trafo
- V_s : Tegangan sisi sekunder Trafo
- XT : Reaktansi Trafo
- I_{sc} : Arus hubung singkat
- TMS : Time multiple setting untuk STI (Short Time Inverse)
- X : Jumlah kali gangguan
- InomS : Arus nominal sisi sekunder Trafo
- t : Durasi waktu gangguan sesuai standart IEC / IEEE
- t₁ : Setting waktu existing (setting lama)
- k : Kemampuan ketahanan Trafo normal

Kesimpulan dari contoh perhitungan yaitu sebuah Trafo 150/20 kV dengan kapasitas 60 MVA, reaktansi 12 %, level arus hubung singkat di sisi 20 kV sebesar 13 kA, setting waktu rele yang lama 0,7 s dan setting waktu rele yang baru yaitu 0.13 STI (short time inverse). Dari perhitungan diatas diketahui kemampuan ketahanan Trafo normal adalah 4,167 x 10⁸ kA²s. Apabila terjadi gangguan sebesar 13 kA pada rele dengan setting waktu 0,7 s, maka kemampuan ketahanan Trafo 1,183 x 10⁸ kA²s. Sedangkan pada rele dengan setting

waktu 0,13 STI (short time inverse), maka kemampuan ketahanan Trafo 4,309 x 10⁷ kA²s.

Pada rele dengan setting waktu 0,7 s, Trafo akan *breakdown* ketika terjadi gangguan sebanyak 3,5 kali. Sedangkan pada rele setting 0,13 STI Trafo akan *breakdown* ketika terjadi gangguan sebanyak 9,7 kali.

4. KESIMPULAN & SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan paparan mulai dari Bab I sampai dengan Bab IV maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut :

1. Penyaluran sistem tenaga listrik terdiri dari 3 bagian utama yaitu mulai dari pembangkitan, penyaluran (transmisi) dan distribusi. Keandalan dari ketiga bagian ini harus terjaga dengan baik agar penyaluran tenaga listrik dapat sampai ke Konsumen.
2. Semakin besarnya tingkat pembebanan dari konsumen dan intensitas gangguan eksternal, usia (life time) dari Transformator akan mengalami penurunan.
3. Sampai batas tertentu arus gangguan hubung singkat eksternal akan menyebabkan penurunan umur sebagai akibat pengaruh thermis. Namun diatas batas tersebut pengaruh thermis bersamaan dengan pengaruh dinamis akan menyebabkan penurunan umur trafo secara progresif dan penurunan tersebut akan dipercepat lagi bila jumlah gangguan makin tinggi.
4. Menurut standart IEC_60076-5 dan IEEE C57.12.00-2000, durasi untuk gangguan eksternal adalah 2 detik. Akan tetapi pada kondisi tertentu, durasi gangguan dapat ditentukan oleh Pengguna.
5. Hasil pembahasan tugas akhir ini, ditentukan untuk setting waktu High Set 2nd Stage yaitu sebesar 0.13 STI (Short Time Inverse) yang setting waktu sebelumnya yaitu sebesar 0.7 s definite.
6. Dengan dipercepatnya durasi pemutusan arus gangguan, diharapkan dapat mempertahankan usia (life time) trafo sehingga dapat bertahan lebih lama. Ketika Trafo mengalami gangguan gangguan eksternal dengan arus hubung singkat maksimal, dengan setting waktu yang existing yaitu 0.7 s definite Trafo akan mengalami *Breakdown* jika gangguan sebanyak 3,5 kali. Sedangkan dengan setting yang baru yaitu 0.13 STI (Short Time Inverse) Trafo baru akan *Breakdown* apabila mengalami gangguan sebanyak 9.7 kali.

4.2 Saran

Dalam penulisan tugas akhir ini ada beberapa saran untuk menjaga keandalan dan usia (life time) dari Trafo, yaitu sebagai berikut :

1. Meningkatkan kualitas inspeksi dan pemeliharaan rutin terhadap peralatan pada bay Trafo.
2. Menjaga ruang bebas(ROW) saluran udara tegangan menengah (SUTM) terhadap benda yang berpotensi menyebabkan gangguan.
3. Memasang konduktor yang berisolasi untuk saluran udara tegangan menengah (SUTM) yang dekat dengan Gardu Induk.
4. Meningkatkan fungsi monitoring dan evaluasi kinerja Trafo.

DAFTAR PUSTAKA

- IEC Standarts 60076-5. (2000-07), *Ability to Withstand Short Circuit*, 19.
- IEEE Standarts C57.12.00-2000, *IEEE Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers*, 36.
- Manual Book Rele Areva. (2010), *Micom P120/P121/P122/P123 Overcurrent relays version 11 Technical Guide*, 203 - 205.
- SK Dir PLN 114. (2010), *Pedoman Pemeliharaan Trafo Tenaga*, 1 -15.
- PT.PLN (Persero) P3BJB - Distribusi. (2012), *Kesepakatan Bersama Pengelolaan Sistem Proteksi Trafo - Penyulang 20 kV*.

