

ANALISIS KOORDINASI SISTEM PENGAMAN MV FEEDER TRAFO CONTROL 20 KV/400 V DENGAN MENGGUNAKAN ETAP 7.0 PADA PABRIK TUBAN 3 PT.SEMEN INDONESIA

Supriyono¹, Suqiono², Bambang Dwi Sulo³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Islam Malang, Jl. MT. Haryono 193, Malang 65144 Indonesia,

supriyono.iphi@gmail.com

Abstrak

Didalam penyaluran energi listrik di industri khususnya di PT.Semen Indonesia proteksi berperan penting terhadap sistem kelistrikan serta peralatannya. Sistem proteksi berperan penting dalam mendeteksi adanya gangguan dan dapat mencegah kerusakan yang diakibatkan gangguan. Dengan menggunakan software ETAP 7.0 dilakukan analisa pemodelan sistem dengan melakukan simulasi *relay* SPAJ 140C menggunakan CT 1250/5 dengan setting pickup 0,5 didapatkan hasil arus gangguan masih cukup besar sehingga masih berpotensi terjadi gangguan pada *circuit breaker Incoming* diatasnya (HVS 31A). Kemudian dilakukan perbaikan dengan melakukan simulasi UR F35 GE Multilin dengan rating CT 1250/5 dan setting pickup 0,016 dari hasil simulasi tersebut didapatkan bentuk kurva koordinasi antara kedua relay pengaman trafo kontrol dan bus 20kV semakin berjauhan sehingga koordinasi proteksi lebih aman tetapi nilai arus tidak dapat ditampilkan secara nyata dikarenakan nilai *rating* CT yang terlalu besar sedangkan load hanya sebesar 23,4kVA/61,57A. Dari hasil simulasi *software* ETAP 7.0 didapatkan solusi dengan menggunakan *relay* UR F35 GE Multilin didapatkan koordinasi *relay* yang lebih aman dan mampu melindungi peralatan jika terjadi gangguan.

Kata kunci: Rele pengaman, koordinasi.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem tenaga listrik tidak pernah lepas dari gangguan, baik gangguan *eksternal* maupun *internal*. Sebagai contoh gangguan *internal* pada peralatan listrik di PT. Semen Indonesia yaitu MV Feeder Transformator seperti *arching*, beban lebih, *temperature* yang tinggi.. Sedangkan gangguan *eksternal* seperti hubung singkat karena hewan yang melewati *bushing* trafo dimana hal ini benar benar pernah dialami atau terjadi di PT. Semen Indonesia dan proteksi tidak bekerja dengan baik (tidak tepat sasaran) karena *circuit breaker* yang *trip* bukan *circuit breaker* yang mengalami gangguan melainkan yang diatasnya. Sehingga pendistribusian listrik terhenti cukup lama karena harus memastikan kondisi peralatan listrik benar-benar baik.

Trafo *control* pernah mengalami gangguan arus hubung singkat. Kegagalan proteksi pada trafo ini mengakibatkan terputusnya suplai ke panel - panel kubikel Tuban 3 dan Tuban 4 yang digunakan untuk lampu penerangan dan *power control* pada gedung *Mainsubstation*. Kegagalan ini diakibatkan tidak bekerjanya alat proteksi pada trafo *control*, sehingga memutuskan suplai *power control* pada bus 20kV dan 150kV. Hal ini akan berdampak buruk pada sistem distribusi Tuban 3.

Karena dengan membukanya *circuit breaker* pada bus 20kV akan mematikan dan menghentikan suplai ke 5 *substation* pada Tuban 3. Untuk menjaga dan meningkatkan performa sistem proteksi di PT. Semen Indonesia dilakukan Analisis koordinasi proteksi sehingga *CB (circuit Breaker)* atau *MVS (Medium Voltage Switchgear)* dapat *trip* dengan tepat dan cepat saat terjadi gangguan. Maka dari itu penulis mengangkat tema studi analisis koordinasi sistem pengaman MV Feeder trafo *control* 20kV/400V dengan menggunakan ETAP 7.0 pada Pabrik Tuban 3 PT.Semen Indonesia. Dari hasil analisis ini, dapat dilakukan penyetelan ulang *relay* pengaman.

Dengan latar belakang tersebut, maka dilaksanakan tugas akhir ini dengan tujuan sebagai berikut :

1. Evaluasi koordinasi peralatan proteksi arus lebih Line MV Feeder Trafo Control 20 KV/ 400 V
2. Menjaga kehandalan sistem pengaman jika terjadi gangguan di Line MV Feeder Trafo Control 20 KV/ 400 V
3. Mengimplementasikan sistem koordinasi proteksi kedalam ETAP

2. DASAR TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Riski Cahya Anugrerah Haebibi, 2014 "Studi Koordinasi Rele Pengaman Pada Sistem Kelistrikan PT. Energi Mega Persada Unit Bisnis EMP Malacca Straits S.A"

Kesimpulannya adalah :

1. Terdapat beberapa setelan rele yang belum tepat dan koordinasi yang kurang baik, terutama pada setelan *pickup* rele pengaman. Pada beberapa rele, setelan kurva inversnya masih menyentuh arus *full load* beban. Hal ini dapat menyebabkan rele tersebut *trip* meski tidak terjadi gangguan.
2. Terdapat *miss* koordinasi antara pengaman satu dengan lainnya sehingga menyebabkan kesalahan *trip* ketika terjadi gangguan pada bus yang tidak terganggu.

Muhammad Rizki Kurniawan, 2014 "Pengujian Relai Arus Lebih / Over Current Relay (OCR) dan Relai Gangguan Tanah / Ground Fault Relay (GFR) Pada Sistem Distribusi 20kV"

Kesimpulannya adalah :

1. Relay arus lebih (OCR) merupakan relai proteksi yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah juga pada proteksi transformator tenaga. Relai ini berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik akibat adanya gangguan fasa-fasa.
2. Relai gangguan tanah merupakan relai proteksi yang bekerja karena adanya besaran arus dan terpasang antara fasa dengan tanah pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah juga pada proteksi transformator tenaga

Enggou Prastyo Utomo, 2013 "Analisa Sistem Proteksi *Relay* Arus Lebih dan Gangguan Tanah Pada Penyulang Limo".

Kesimpulannya adalah :

1. Besar arus gangguan juga dipengaruhi oleh jarak titik gangguan hubung singkat, semakin jauh jarak gangguan maka akan semakin kecil arus gangguan hubung singkat.
2. Ada beberapa setting toleransi pada trafo dan kabel sehingga arus gangguannya berbeda sedikit terhadap perhitungan.

Penyetelan Rele Arus Lebih

Rele arus lebih memiliki setelan *pickup* dan setelan *time dial*. *Pickup* didefinisikan sebagai nilai arus minimum yang menyebabkan rele bekerja (*Iset*). Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk

menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut.

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}}$$

Waktu operasi rele ditentukan oleh setelan *time dial*. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut

$$td = \frac{K \times t}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{\alpha} - 1\right]} \times \frac{1}{\beta}$$

Di mana :

t = waktu operasi (detik)

Td = *time dial*

I = nilai arus (Ampere)

Iset = arus *pickup* (Ampere)

k = koefisien invers 1 (lihat tabel 2.1)

α = koefisien invers 2 (lihat tabel 2.1)

β = koefisien invers 3 (lihat tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien Invers Time Dial

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard / normal Inverse</i>	0,14	0,02	2.97
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1.5
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	13,3

3. METODE PENELITIAN

3.2 Spesifikasi Alat

1. Trafo Control

Kapasitas trafo 630kVA

Volt HV 20000

LV 400

Ampere HV 18.18

LV 900

Frequency 50 Hz

Impedance 4 %



Gambar 3.2 Trafo Control Tuban 3

2. UR F35 GE Multilin

UR F35 GE Multilin merupakan system proteksi pada peralatan yang terdiri dari beberapa relay proteksi, dan termasuk dalam UR (Universal Relay). GE Multilin ini menyediakan fitur monitoring, pengukuran, control, dan proteksi yang saling terintegrasi. Spesifikasi dari UR F35 :

1. PHASE/NEUTRAL/GROUND TOC:

- Pickup level: 0.000 to 30.000 pu in steps of 0.001
- Dropout level: 97% to 98% of pickup
- Curve shapes: IEEE Moderately/Very/Extremely
- Inverse; IEC (and BS) A/B/C and Short
- Inverse; GE IAC Inverse, Short/Very/Extremely Inverse
- Curve multiplier: Time Dial = 0.00 to 600.00 in steps of 0.01

2. PHASE/NEUTRAL/GROUND IOC:

- Pickup level: 0.000 to 30.000 pu in steps of 0.001
- Dropout level: 97 to 98% of pickup
- Pickup delay: 0.00 to 600.00 s in steps of 0.01
- Reset delay: 0.00 to 600.00 s in steps of 0.01



Gambar 3.4 UR F35 GE MULTILIN

3. SPAJ 140C ABB

Rele SPAJ 140 C produk ABB digunakan untuk proteksi karena *short circuit/ earth-fault* dan juga monitoring, pengukuran, control pada system tenaga listrik yang di bangun.

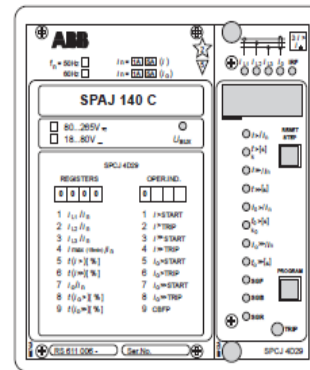
Spesifikasi dari rele tersebut adalah:

1. Low-set overcurrent stage I> *

- Start current **
- at definite time characteristic 0.5...5.0 x In
- at inverse time characteristic *** 0.5...2.5x In
- Time/current characteristic
- definite time characteristic
- operate time $t > 0.05...300$ s
- inverse definite minimum time (IDMT) characteristic as per IEC 60255-3 and BS 142 : Extremely inverse, Very inverse, Normal inverse, Long-time inverse
- time multiplier k 0.05...1.0

2. High-set overcurrent stage I>> *

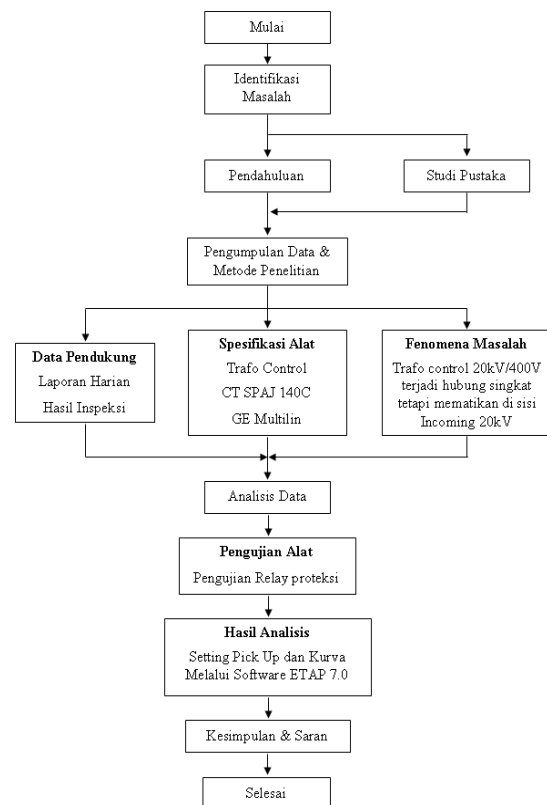
- Start current 0.5...40 x In and ¥, infinite
- Operate time $t >> 0.04...300$ s



Gambar 3.5 SPAJ140C ABB

3.3 Diagram Alir Penelitian

Adapun dalam pelaksanaan tugas akhir ini digunakan metodologi yang diberikan dalam diagram alir penelitian.



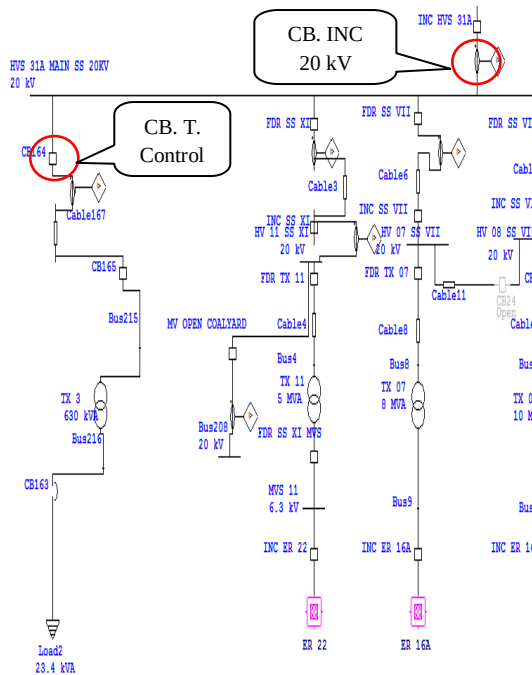
Gambar 3.6 Blok Diagram Alir

4. ANALISIS DAN HASIL SIMULASI

4.1 Pemodelan Single Line Diagram Trafo Kontrol

Didapatkan data pemodelan keseluruhan Sistem Kelistrikan Tuban 3 dalam Software ETAP 7.0 Untuk proses analisa pemodelan dilakukan berdasarkan data peralatan sistem kelistrikan Trafo control Tuban 3. Sehingga dapat dilihat koordinasi proteksinya dengan spesifik relay yang berbeda. Seperti yang tertera pada gambar yang mana CB 164 adalah Circuit Breaker untuk trafo control dengan kapasitas trafo 630kva. Sedangkan Inc

HVS 31A adalah Circuit breaker incoming untuk bus 20kv yang berasal dari hasil penurunan tegangan yang semula tegangan input dari pln 150kV step down 20kV.



Gambar 4.1 Pengaman Trafo Kontrol Pada Tuban 3

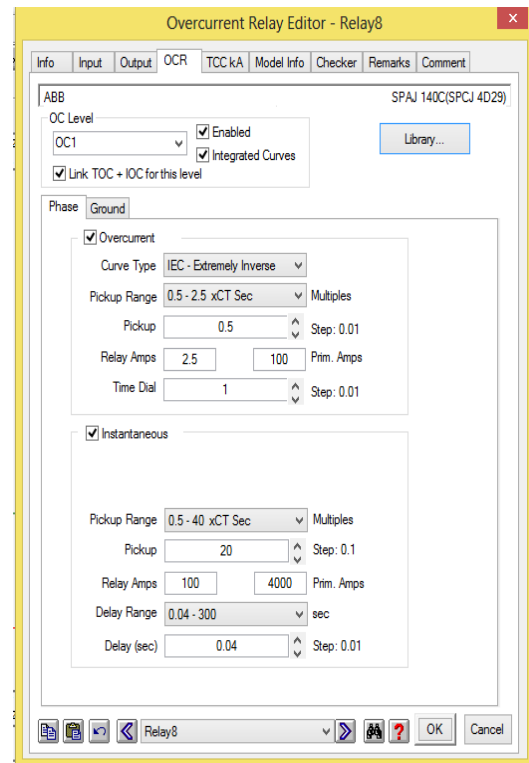
4.2 Studi Koordinasi Proteksi

Analisa koordinasi proteksi dilakukan dengan 4 kondisi. Permasalahan yaitu :

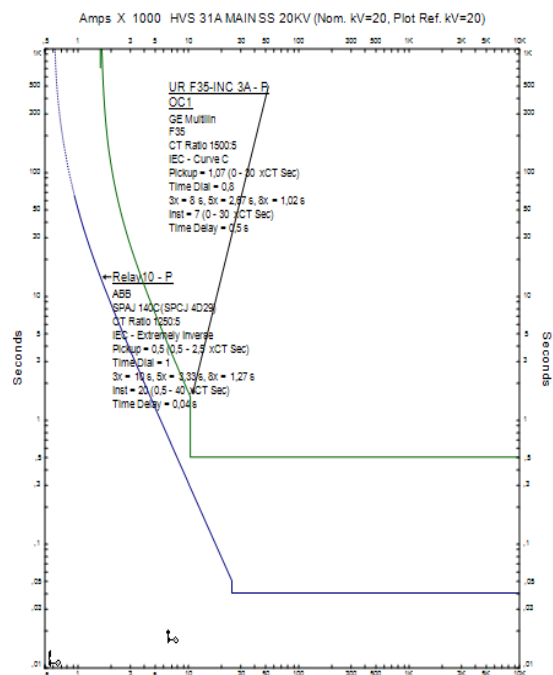
1. Ketika CT SPAJ 140C (produk ABB) disetting nilai pick up yang paling kecil (sebelum terjadi gangguan)
2. Ketika CT diganti dengan menggunakan UR F 35 GE Multilin. Dengan setting nilai pick up sesuai pada pabrik. (setelah perbaikan)
3. CT menggunakan UR F35 GE Multilin dengan rating tetap 1250/5A tetapi dilakukan setting ulang dengan rumus
4. CT menggunakan UR F35 GE Multilin dengan rating berubah 400/5A

4.2.1 Setting dan Kurva Koordinasi bagian pertama

Ketika CT SPAJ 140C (produk ABB) disetting nilai pick up yang paling kecil (sebelum terjadi gangguan)



Gambar 4.2 Setting pick up Relay pada CT SPAJ 140C dengan pick up terkecil (saat terjadi gangguan)



Gambar 4.3 Kurva koordinasi proteksi trafo control dengan pengaman di atas bus 20Kv setelah disetting ulang

Pada kordinasi proteksi bagian pertama relay SPAJ 140C dengan rating CT 1250/5 pick up

dengan nilai terendah, yaitu 0,5. Sehingga terlihat bentuk kurva koordinasi antara kedua relay pengaman trafo kontrol dan bus 20 Kv jaraknya semakin berjauhan, yang mengindikasikan bahwa koordinasi proteksi lebih aman. Dengan pick up yang digunakan adalah 0,5 , maka didapat arus gangguan :

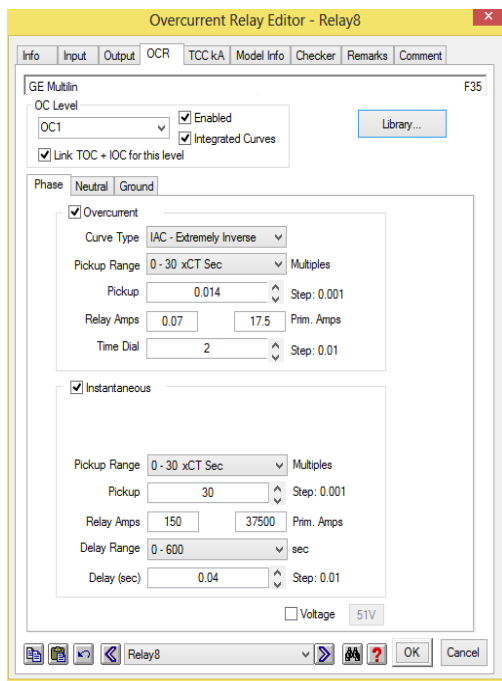
- $I \text{ gangguan} = 1250 \times 0,5$
 $= 625 \text{ A}$

Pada perhitungan di atas, arus sebesar 625 A terlalu besar untuk arus pada trafo control. Pada perhitungan sebelumnya (4.1), rating arus 80% dari trafo control adalah 14,54 A. Dengan arus gangguan sebesar 625 A sangat berbahaya untuk ketahanan peralatan pada trafo control.

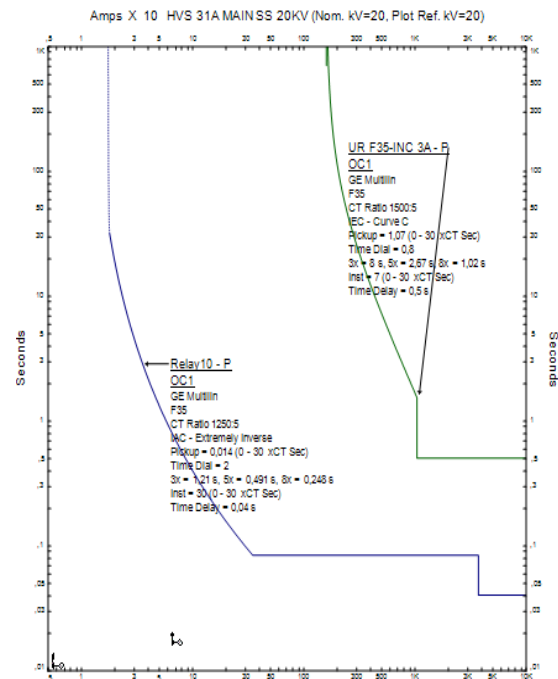
Dari hasil analisa koordinasi proteksi untuk trafo control, koordinasinya sudah sesuai ,namun tidak untuk mengamankan peralatan. Karena, dengan rating CT yang besar dan setting pick up relay yang tidak mampu dibawah 0,5(kurang teliti) maka dengan setting tersebut I gangguan masih cukup besar untuk peralatan pada trafo control..

4.2.2 Setting dan Kurva Koordinasi bagian kedua

CT diganti dengan menggunakan UR F35 GE Multilin. Dengan setting nilai pick up sesuai pada pabrik. (setelah perbaikan)



Gambar 4.4 Setting pick up Relay pada CT GE Multilin dengan pick up 0,014 (Setting dari Semen Gresik)



Gambar 4.5 Kurva koordinasi proteksi trafo control (Setting dari Pabrik setelah terjadi gangguan)

Untuk mendekati nilai arus gangguan pada trafo yaitu 14,54 A, Semen Gresik mengganti relay dengan tipe GE Multilin, dengan rating CT adalah 1250/5 A. Pada koordinasi kedua ini, pick up pada relay telah disetting, sehingga koordinasi proteksi antara relay pada GE Multilin dengan pengaman Incoming HVS 31A sudah baik, karena jarak kurva yang relatif jauh. Pergantian Relay ini sebenarnya memfokuskan untuk pengaturan pick up yang sangat kecil, karena rating CT tetap. Sehingga dilakukan setting pick up sebesar 0,014.

Dari hasil settingan ini, arus gangguan yang dapat diterima trafo adalah :

$$I \text{ gangguan} = 1250 \times \text{pick up}$$

Nilai arus sebesar 17.5A berada di bawah rating trafo control yang sebesar 18A. bisa dikatakan baik dan mampu melindungi peralatan lainnya jika terjadi gangguan. Namun pada trafo sebaiknya dan menurut kebijakan PT.Semen Indonesia pembebanan maksimalnya adalah 80% dari rating pada name plate. Sehingga alangkah baiknya jika dilakukan setting ulang pick up yang lebih kecil.

Namun dengan nilai setting pick up diatas dan dengan nilai rating CT 1250/5 relay Ge Multilin tidak mampu memonitoring nilai aktual arus tersebut.

4.2.3 Setting dan Kurva Koordinasi bagian ketiga

Menurut kebijakan PT.Semen Indonesia setting CT sesuai dengan arus pembebanan pada trafo yaitu 80% dari rating arus trafo. Dibawah ini merupakan data hubung singkat pada bus HVS 31A SS MAIN 20 KV dan BUS 217 0,4 KV.

Tabel 4.3 Arus Hubung Singkat Maksimum

Bus ID	Tegangan Bus (KV)	Isc Maksimum	
		4 Cycle	30 Cycle
HVS 31A SS MAIN 20 KV	20 KV	19,32KA	19,31KA
BUS 217 0,4 KV	0,4 KV	13,78KA	13,78KA

Tabel 4.4 Arus Hubung Singkat Minimum

Bus ID	Tegangan Bus (KV)	Isc Minimum	
		4 Cycle	30 Cycle
HVS 31A SS MAIN 20 KV	20 KV	11,63KA	11,63KA
BUS 217 0,4 KV	0,4 KV	13,65KA	13,65KA

- Perhitungan Current Setting IDMT / Low set

Manufacturer = GE Multilin
 Model = F35
 Kurva = Extremely Invers
 Ratio CT = 1250/5
 Isc Min 30 Cycle

$$FLA = \frac{KVA}{\sqrt{3} KV}$$

- Current Setting IDMT / Low Set :

$$\frac{0,8 FLA}{1250} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0,8 I_{sc \min}}{1250} I_n$$

$$0,0116 I_n \leq I_{set} \leq 7,44 I_n$$

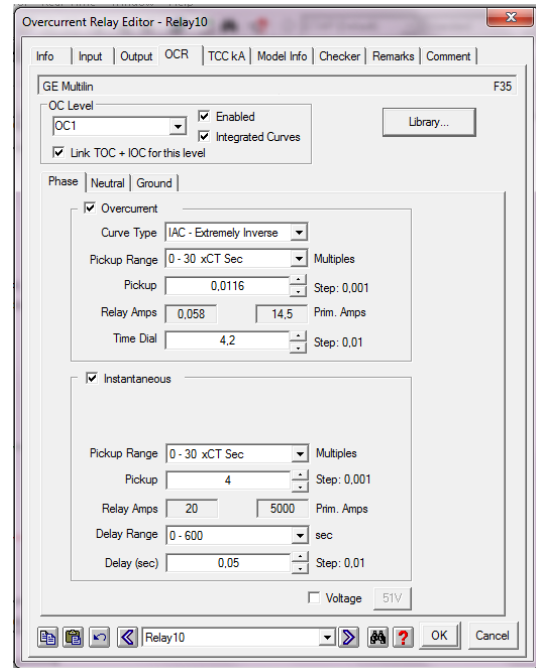
Maka dipilih tap sebesar 0,0116 In

- Time Setting IDMT (Time Dial)
 Waktu operasi (td) = 0,2 s

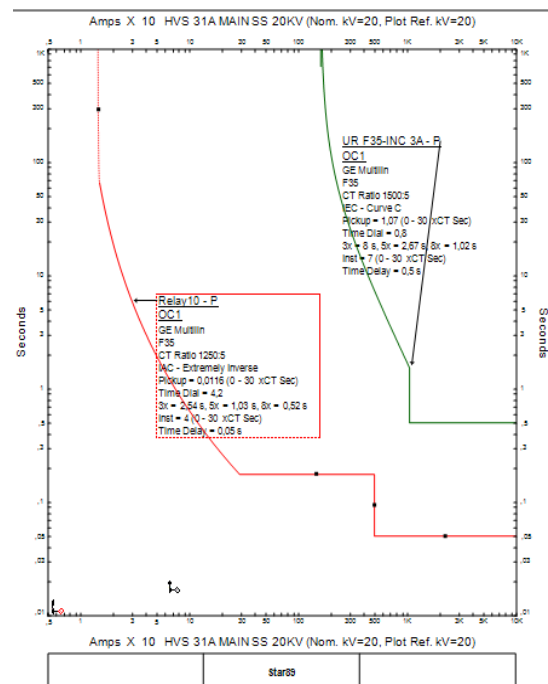
$$\frac{I}{I_{set}} = \frac{I_{sc \max} 4 \text{ Cycle Bus 217 0,4 KV}}{I_{set}}$$

- Current setting High Set

$$I_{sc \max} 4 \text{ cycle Bus 217 0,4 KV convert 20 KV } I_n \leq I_p \leq \frac{0,8 I_{sc \min} 30 \text{ Cycle HVS 31 A Main SS 20 Kv}}{1250}$$



Gambar 4.6 Setting pick up Relay pada CT GE Multilin dengan pick up 0,0116 dengan rating 1250/5



Gambar 4.7 Kurva koordinasi proteksi trafo control dari hasil perhitungan dengan rating 1250/5

Terlihat bentuk kurva koordinasi antara kedua *relay* pengamanan trafo *control* dan bus 20 kV jaraknya semakin berjauhan, yang mengindikasikan bahwa koordinasi proteksi lebih aman. Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh nilai *pickup* yang lebih kecil dari *setting pickup* sebelumnya, dan lebih sesuai dengan 80% dari *rating* arus pada trafo *control*. Namun tidak dapat ditampilkan secara aktual pada *relay*, karena *rating* CT yang terlalu besar 1250/5 sedangkan *load* hanya sebesar 23,4kVA / 61,57A.

4.2.4 Setting dan Kurva Koordinasi bagian keempat

Cara lain agar arus gangguan sesuai dengan 80% dari rating trafo adalah dengan mengganti rating CT yang lebih kecil. Salah satunya adalah menggunakan CT dengan rating 400/5 A.

- Perhitungan Current Setting IDMT / Low set

Manufacturer = GE Multilin
Model = F35
Kurva = Extremely Invers
Ratio CT = 400/5

$$FLA = \frac{KVA}{\sqrt{3} KV}$$

- Current Setting IDMT / Low Set :

$$\frac{0,8 FLA}{400} I_n \leq I_{set} \leq \frac{0,8 I_{sc min}}{400} I_n$$

Maka dipilih tap sebesar 0,036 In

- Time Setting IDMT (Time Dial)
Waktu operasi (td) = 0,2 s

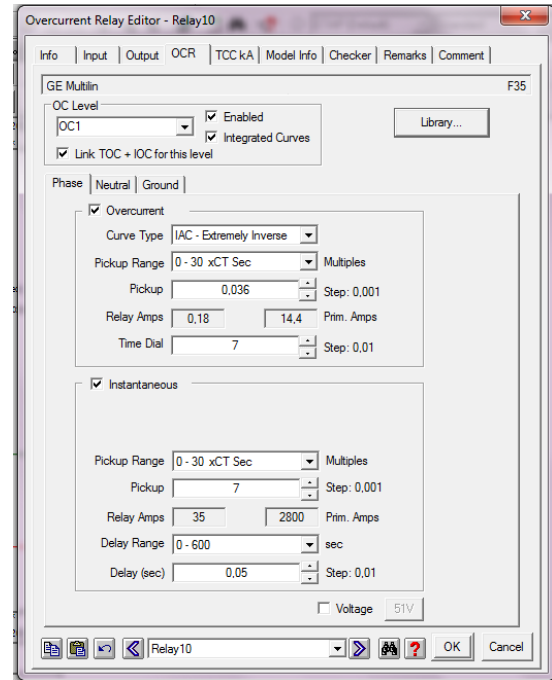
$$\frac{I}{I_s} = \frac{I_{sc Max 4 Cycle Bus 217 0,4 KV}}{I_{set}}$$

$$T_d = \frac{K \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha-1} \right]}$$

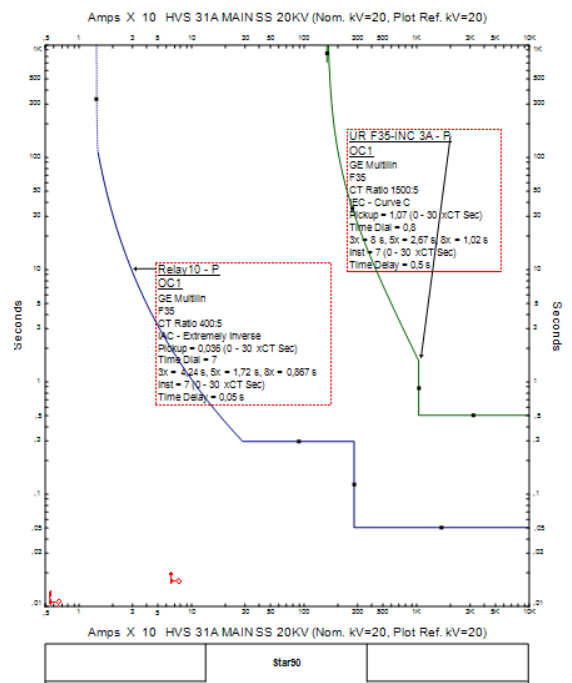
$$T = \frac{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{\alpha-1} \right] T_d}{K}$$

- Current setting High Set

$$\frac{I_{sc Max 4 cycle Bus 217 0,4 KV convert 20 KV}}{400} I_n \leq I_p \leq \frac{0,8 I_{sc Min 30 Cycle HVS 31 A Main SS 20 Kv}}{400}$$



Gambar 4.8 Setting pick up Relay pada CT GE Multilin dengan pick up 0,036 rating 400/5



Gambar 4.9 Kurva koordinasi proteksi trafo control dari hasil perhitungan dengan rating 400/5

Berdasarkan kurva diatas koordinasi proteksi antara relay pada GE Multilin dengan pengamanan Incoming HVS 31A sudah baik, karena jarak kurva yang relatif jauh. Dari hasil setting dan kurva koordinasi bagian keempat CT berubah 400/5 tetapi dengan nilai setting pickup sebesar 0.036. Dari setting pickup tersebut diperoleh nilai actual I

set sebesar 14,4A sehingga lebih sesuai dengan 80% dari rating arus pada trafo control.

5. PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa dan simulasi dengan pemodelan keseluruhan Sistem Kelistrikan Tuban 3 maka dapat disimpulkan analisis koordinasi sistem pengaman MV Feeder trafo control 20kV / 400V dengan menggunakan ETAP 7.0 adalah :

1. Dari hasil analisa koordinasi proteksi untuk trafo control, koordinasinya sudah sesuai ,namun tidak untuk mengamankan peralatan. Karena, dengan rating CT yang besar 1250/5 dan setting pickup relay yang tidak mampu dibawah 0,5(kurang teliti) sehingga I gangguan masih cukup besar (625A) untuk peralatan pada trafo control dengan nilai arus primer 18.1A. sehingga sangat berbahaya untuk ketahanan peralatan pada trafo control.
2. Dari hasil perhitungan dan simulasi menggunakan software ETAP 7.0 nilai arus gangguan sebesar 17.5A sedangkan nilai arus trafo control sebesar 18.1A sehingga bisa dikatakan baik dan mampu melindungi peralatan lainnya jika terjadi gangguan. Namun dengan nilai setting pickup sebesar 0.014 dan dengan nilai rating CT 1250/5 relay GE Multilin tidak mampu memonitoring nilai arus actual trafo control dikarenakan load hanya sebesar 23.4kVA/61.57A.

SARAN

1. Diperlukan adanya penggantian CT pada trafo control yang sesuai dengan rating kapasitas trafo agar mampu memonitoring nilai arus actual.
2. Diperlukan adanya setting ulang relay proteksi untuk menjaga kehandalan sistem pengaman jika terjadi gangguan di Line MV Feeder Trafo Control 20 KV/ 400 V

DAFTAR PUSTAKA

ABB, " Relay SPAJ 140 C Manual and Technical Description".1997.

Cahya Anugraha Haebibi,Rizki ,“ Studi Koordinasi Rele Pengaman Pada Sistem Kelistrikan PT. Energi Mega Persada Unit Bisnis EMP Malacca Straits S.A”2014.

Davies. T, *Protection of Industrial Power System second edition*, Great Britain, 2006.

GE Multilin, " UR F35 Multiple Feeder Management Relay".2011.

Gers, Juan M., dan Holmes, Edward J., “Protection of Electrical Distribution Network 2nd

Edition”, The Institution of Electrical Engineers, London, Ch. 5, 2004

IEEE Std 1159-1995, " IEEE recommended practice for monitoring electric power quality", The Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc., New York,1995.

IEEE Std 242-2001™, " IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power systems", The Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc., New York,2001.

Jadwal Inspeksi List Peralatan Pemel Listrik RKC 3-4 (IK/5192/010)

Laporan Harian Pemel. Listrik RKC 3-4 (IK/5192/011)

Prastyo Utomo,Enggou,"Analisa Sistem Proteksi Relay Arus Lebih dan Gangguan Tanah Pada Penyulang Limo",2013

Rizki Kurniawan,Muhammad,"Pengujian Relai Arus Lebih / Over Current Relay (OCR) dan Relai Gangguan Tanah / Ground Fault Relay (GFR) Pada Sistem Distribusi 20kV"2014

Tirza Nova,Syahrial,"Perhitungan setting rele OCR dan GFR Pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator Di Perusahaan "X"",2013.

Wahyudi, R, "Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik",Teknik Elektro- ITS,Surabaya, 2008