

Studi Analisis Sistem Proteksi pada PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik

Sekar Arum Firmandya
Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Email: sekarfirmandya@yahoo.com

Abstrak

PT. Pembangkit Jawa Bali (PJB) UP Gresik merupakan salah satu pembangkit listrik yang ada di Indonesia. Pembangkit pada PT. PJB UP Gresik ini memiliki 3 jenis pembangkit, yaitu pembangkit listrik tenaga uap, pembangkit listrik tenaga gas dan uap serta pembangkit listrik tenaga gas. Sebagai perusahaan listrik tentunya untuk menjaga kekontinuitas listrik diperlukan peralatan listrik yang handal serta melakukan pemeliharaan secara berkala. Oleh karena itu, peralatan listrik yang digunakan harus memiliki sistem proteksi sebagai bentuk preventif dan solutif dari gangguan yang ada, sehingga mampu mengisolir bagian ketika terjadi gangguan tanpa mengganggu kinerja di daerah lain.

Penelitian ini mempelajari tentang bagaimana sistem proteksi pada peralatan ketenagaan listrik (transformator dan motor listrik) kelayakan dan koordinasi sistem pengaman terkhusus untuk *relay* arus lebih (*over current relay*) pada PLTU Unit 3 PT. PJB Gresik. Pada penelitian ini digunakan *software* ETAP 12.6 untuk menganalisis kinerja *relay*, koordinasi antar *relay* serta menyimulasikan ketika terjadi gangguan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah penulis merekomendasikan penyetelan ulang nilai *pickup* pada *main transformer* dan *auxiliary transformer* serta merekomendasikan setelan nilai *time dial* untuk beban motor listrik 4.16 kV sehingga menghasilkan koordinasi antar *relay* yang tidak tumpang tindih dan dalam *grading time* yang sesuai standar British IEEE 242.

Kata kunci : Proteksi, Relay Arus Lebih, ETAP 12.6, *pickup*, dan *time dial*

PT. Pembangkit Jawa Bali (PJB) UP Gresik is one of power plant based in Indonesia. PT. PJB UP Gresik have 3 types of power plant such as, steamed powered electric generator, (natural) gas powered electric generator, and last gas and steam powered electric generator. As electricity company, certainly maintaining electrical continuity and needs periodic maintenance. Therefore, electrical equipment must have protection system as preventive and solutive from any electrical fault, so as to isolate the part when there is electrical fault without disturbing the performance in other areas.

This research study about how feasibility and coordination of protection system on electrical equipment (transformer and electric motor) especially for over current relay on PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik. In this research used ETAP 12.6 software for analyze relay performance, coordination between relay and analyze the electrical fault. The result of this research are writer recommend resetting pickup point in main transformer and auxiliary transformer and recommend resetting time dial point for electric motor 4.16 kV so the coordination between relay there is no overlapping and the grading time in accordance with British IEEE 242.

Keywords: Protection, Over Current Relay, ETAP 12.6, *pickup*, and *time dial*

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. Pembangkit Jawa Bali (PJB) Unit Pembangkitan (UP) Gresik merupakan salah satu perusahaan penyedia tenaga listrik yang ada di Jawa-Bali yang terus berupaya untuk menjaga ketersediaan listrik dengan memperhitungkan dinamisnya jumlah beban yang kian tahun makin meningkat.

Oleh karena itu, salah satu upaya agar keandalan penyediaan daya listrik tetap terjaga maka segala peralatan/komponen yang terlibat pada proses pembangkitan listrik harus dijaga, sehingga diperlukan proteksi pada peralatan tersebut. Adanya gangguan pada sistem dapat menyebabkan kerusakan pada sistem ataupun peralatan listrik. Gangguan elektrik yang sering terjadi pada generator, transformator, ataupun beban adalah hubung singkat tiga fasa, dua fasa, ataupun satu fasa ke tanah dsb.

Pada penelitian ini akan membahas salah satu *relay* proteksi yang digunakan pada PLTU Unit 3 Gresik yaitu *relay* arus lebih (*over current relay*). *Relay* arus lebih berfungsi untuk mendeteksi gangguan arus lebih pada daerah yang dilindungi sehingga perlu diperhatikan *setting* dan koordinasi pemasangan *relay* agar dapat berfungsi ketika terjadi gangguan arus lebih.

II. DASAR TEORI

2.1. Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang meliputi peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga misalnya generator, transformator jaringan, motor-motor listrik dan lain sebagainya, terhadap kondisi abnormal/gangguan operasi sistem itu sendiri.

Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron dan lain sebagainya. Kondisi abnormal ini dapat menyebabkan kerusakan

peralatan ataupun sistem itu sendiri jika tidak dilakukan preventif dengan memasang sistem proteksi pada sistem tenaga listrik tersebut.

2.1.1. Tujuan Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Tujuan adanya proteksi pada sistem tenaga listrik secara umum adalah untuk mengisolasi daerah/zona yang mengalami gangguan pada sistem tenaga listrik agar gangguan tersebut tidak menyebar ke daerah/zona lain yang dapat mengganggu kinerja sistem lainnya. Selain itu bertujuan untuk melindungi kerusakan pada peralatan sistem tenaga listrik. Sehingga proteksi ini harus sanggup menangani gangguan agar tujuan dari proteksi dapat terpenuhi.

2.1.2. Persyaratan Kualitas Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Terdapat beberapa persyaratan yang sangat perlu diperhatikan dalam suatu perencanaan sistem proteksi yang efektif yaitu:

1. Selektivitas dan Diskriminasi

Efektivitas suatu sistem proteksi dapat dilihat dari kesanggupan mengisolir bagian yang terkena gangguan dan tidak. Sehingga daerah/zona yang diisolir sesuai keadaan yang terdapat gangguan saja, agar pada daerah/zona lain tetap dapat beroperasi normal.

2. Stabilitas

Sifat ini menunjukkan bahwa daerah/zona yang tidak mengalami gangguan tetap dapat beroperasi dengan baik/stabil.

3. Kecepatan Operasi

Ketika terjadi gangguan, waktu lama gangguan dan besar arus gangguan dapat memengaruhi keadaan peralatan listrik, sehingga pentingnya kecepatan waktu operasi *relay* dalam mendeteksi dan memutuskan *circuit breaker* (CB) untuk bekerja dan yang paling penting adalah

perlu membuka bagian-bagian yang terganggu sebelum peralatan sistem tenaga listrik ikut terganggu ataupun rusak.

4. Sensitivitas (kepekaan)

Yaitu besarnya arus gangguan agar alat proteksi dapat bekerja. Nilai sensitivitas ini dapat dinyatakan dengan besarnya arus dalam jaringan aktual (arus primer) atau sebagai presentase dari arus sekunder (trafo arus).

5. Pertimbangan ekonomis

Hal ini juga perlu dipertimbangkan mengingat banyaknya jumlah peralatan yang akan diproteksi, harapannya dengan harga yang ekonomis dapat memberikan proteksi yang semaksimal mungkin agar keberlangsungan sistem tenaga listrik dapat terjaga.

6. Realiabilitas (keandalan)

Suatu peralatan proteksi harus dapat bekerja dengan baik ketika dibutuhkan. Walaupun tidak setiap saat terjadi gangguan yang menyebabkan peralatan proteksi bekerja tetapi saat dibutuhkan harus secara maksimal bekerja, sehingga perlu menggunakan peralatan berkualitas tinggi dan rutin dilakukan pengecekan terhadap peralatan proteksi.

7. Proteksi Cadangan

Proteksi cadangan (*back up*) merupakan proteksi yang terpisah dan bekerja untuk mengamankan bagian yang terganggu jika proteksi utama tidak bekerja. Sistem pendukung bekerja mandiri sama seperti proteksi utama, memiliki trafo dan *relay* tersendiri. Setiap sistem proteksi utama melindungi suatu daerah/zona sistem daya tertentu. Terdapat kemungkinan suatu daerah di antara zona-zona yang berdekatan misalnya antara trafo arus dan *circuit breaker* tidak terlindungi, sehingga perlu adanya proteksi cadangan.

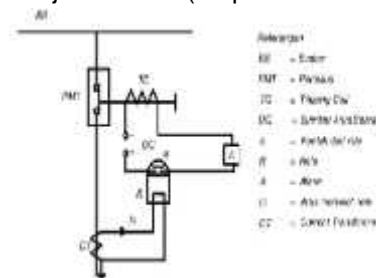
2.2. Proteksi *Relay* Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Relay arus lebih bekerja berdasarkan besar arus yang mengalir pada daerah pengamanan, jika nilai arus lebih besar daripada nilai *setting* (nilai arus *pickup*) maka akan dideteksi sebagai gangguan.

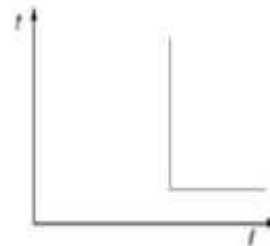
2.2.1. Prinsip Kerja dan Karakteristik *Relay* Arus Lebih

1. *Relay* Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

Relay arus lebih seketika adalah jenis *relay* arus lebih dimana ketika *relay* mulai *pickup* hingga *circuit breaker* membuka terjadi tanpa penundaan waktu (*instantaneous*). *Relay* arus ini digunakan sebagai pengaman arus hubung singkat maksimum (*high set*) sehingga waktu trip pada arus gangguan yang besar *relay* akan bekerja seketika (tanpa waktu tunda).



Gambar 2.1: *Relay* Arus Lebih Seketika



Gambar 2.2: Karakteristik *Relay* Arus Lebih Seketika

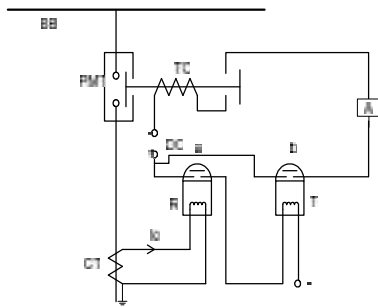
Pada gambar 2.3. terlihat jika kenaikan arus melebihi harga operasi dari *relay* (nilai *pickup*) maka *relay* akan bekerja untuk memerintahkan *circuit breaker* atau PMT untuk membuka. Rentang waktu kerja *relay* sangat singkat yaitu sekitar 20 -100 mili detik.

2. Relay Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite Time)

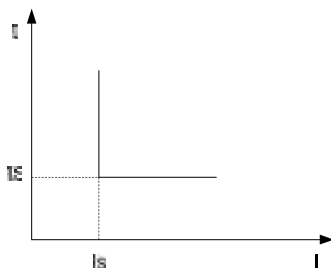
Relay arus lebih tertentu adalah jenis relay arus lebih dimana ketika relay mulai bekerja dari pickup hingga memerintahkan *circuit breaker* membuka dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus gangguan tetapi bergantung dari besarnya arus *setting*, sehingga waktu kerja relay ditentukan oleh waktu *setting*. Umumnya rentang *setting* untuk relay *definite time* adalah 0,9 – 1,8 dari arus nominalnya sedangkan untuk waktu operasinya berkisar dari 0,1 detik sampai 4 detik.

Setting tersebut sudah memenuhi beberapa pertimbangan seperti memberikan *back up protection* untuk *outgoing feeder*, tidak mendeteksi keadaan beban lebih (*overload*) serta nilai *drop off/pickup ratio* dari relay tersebut.

Berikut gambar rangkaian *definite time relay* serta karakteristik dari relay *definite time* yang ditunjukkan pada gambar 2.3 dan 2.4



Gambar 2.3: Relay Arus Lebih Waktu Tertentu

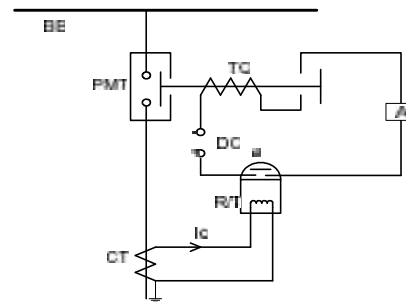


Gambar 2.4: Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Tertentu

3. Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik (Inverse)

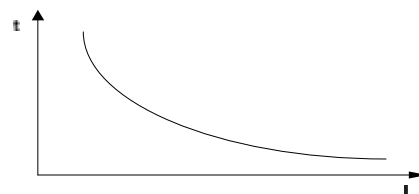
Relay arus lebih yang memiliki karakteristik berbanding terbalik (*inverse*) adalah jenis relay arus lebih yang jangka waktu relay mulai dari pickup hingga memerintahkan *circuit breaker* membuka tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relay. Dengan kata lain semakin besar arus yang melewati kumparan maka semakin singkat waktu operasi relay untuk pengamanan. Besar arus berbanding terbalik dengan waktu operasi relay (*inverse*).

Berikut ditampilkan gambar rangkaian relay arus lebih dengan karakteristik berbanding terbalik (*inverse*) yang ditunjukkan pada gambar 2.5 seperti di bawah ini.



Gambar 2.5. Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik

Selanjutnya, ditampilkan karakteristik dari relay arus lebih berbanding terbalik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 di bawah ini.



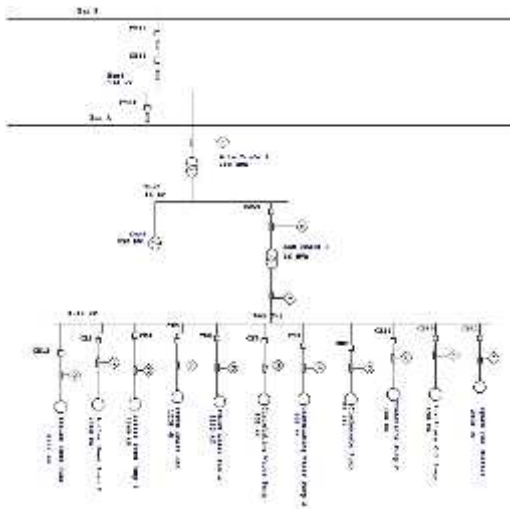
Gambar 2.7. Karakteristik Relay Arus Lebih Berbanding Terbalik

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengenalan Sistem Kelistrikan di PLTU Unit 3. PT. PJB UP Gresik

PLTU PT. PJB UP Gresik terdiri dari 4 buah unit pembangkitan, dimana PLTU 1-2 berkapasitas 100 MW dan PLTU 3-4 berkapasitas 200 MW. Ke-empat unit pembangkit tersebut secara bersama-sama beroperasi sepanjang tahun.

Berikut merupakan gambar sistem kelistrikan secara umum di PLTU PT. PJB UP Gresik yang ditampilkan pada gambar dan gambar *single line diagram* beban motor listrik 4.16 kV dalam simulasi ETAP 12.6



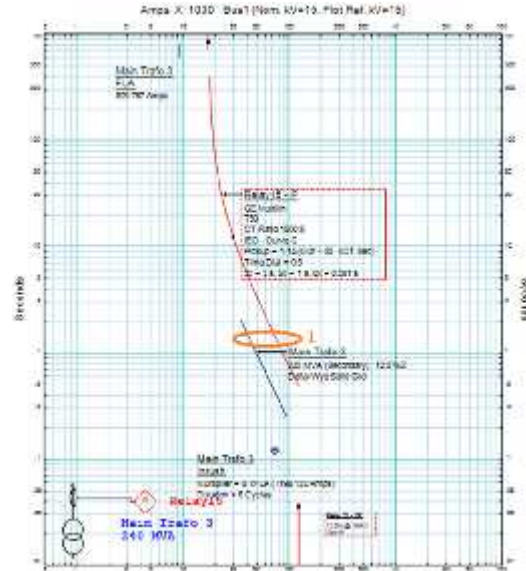
Gambar 3.1. *Single Line Diagram* PLTU Unit 3 PT. PJB UP Gresik (ETAP)

3.2. *Setting Relay* Proteksi Arus Lebih di PLTU Unit 3. PT. PJB UP Gresik

3.2.1. Transformator

Main transformer

Jenis <i>Relay</i>	= T60 Ge Mutilin
Rasio CT	= 1500/5
<i>Pick up</i>	= 1.140 pu
Arus <i>pickup</i>	= 1.140 x 1500 A = 1710 A
Kurva	= IEC curve C
TDM	= 0.3
T	= 0.48 detik



Gambar 3.2. Hasil Plot Setelan *Relay* Arus Lebih pada Daerah *Main transformer*

Poin 1

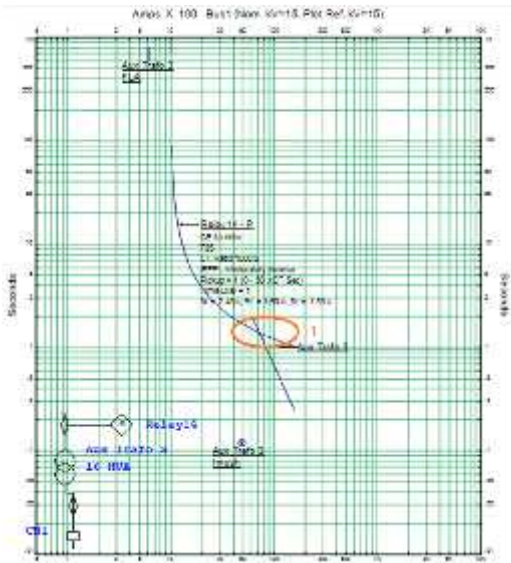
Berdasarkan hasil plot setelan *relay* pada daerah *main transformer* yang ada pada gambar 3.2 di atas, maka dapat dijelaskan sebagai berikut.

Sesuai gambar di atas terlihat bahwa *relay* arus lebih tersebut bekerja di atas daerah *damage* transformator (pada gambar kurva *relay* berada di sebelah kanan daerah *damage* transformator) yaitu daerah dimana tepat akan terjadi kerusakan pada transformator akibat pemanasan berlebihan (*overheat*). Sehingga sebelum itu terjadi *relay* arus lebih harus dapat bekerja mengamankan transformator. Sehingga untuk kasus ini *relay* belum sesuai pengaturannya karena bekerja melewati daerah *damage transformer*. Ketika transformator sudah mengalami pemanasan berlebihan (*overheat*), *relay* baru bekerja sehingga memungkinkan kerusakan terjadi pada transformator. Dalam hal ini artinya *relay* gagal mengamankan *main transformer*.

Auxiliary transformer

Jenis <i>Relay</i>	= T35 Ge Mutilin
Rasio CT	= 1000/5
<i>Pick up</i>	= 1.000 pu

Arus Pickup = 1 x 1000 A = 1000 A
 Kurva = IEEE mod inv
 TDM = 1
 T = 0.6 detik



Gambar 3.3. Hasil Plot Setelan Relay Arus Lebih pada Daerah Auxiliary transformer

Poin 1

Pada poin 1 terlihat bahwa relay arus lebih memotong garis daerah damage transformer. Artinya relay bekerja setelah terjadi kerusakan akibat pemanasan berlebihan (overheat) pada transformer sehingga relay ini harus dilakukan pengaturan ulang karena relay tidak bekerja ketika gangguan terjadi dan sebelum terjadi kerusakan pemanasan berlebihan (overheat) pada transformer. Dalam hal ini artinya relay gagal mengamankan auxiliary transformer.

3.2.2. Resetting Relay Transformator

Main transformer

FLA = 899.766 A 899.8 A

Menurut british standard BS 142 nilai pickup adalah 1,05 FLA < IP < 1,4 FLA

Ip = 1.3 x 899.8 A

Ip = 1169.74 A

Pickup (pu) = 0.779 0.8

$$T = TDM \times \left[\frac{K}{\left(\frac{I}{I_{ip}} \right)^E - 1} \right]$$

$$TDM = T \times \left[\frac{\left(\frac{I}{I_{ip}} \right)^E - 1}{K} \right]$$

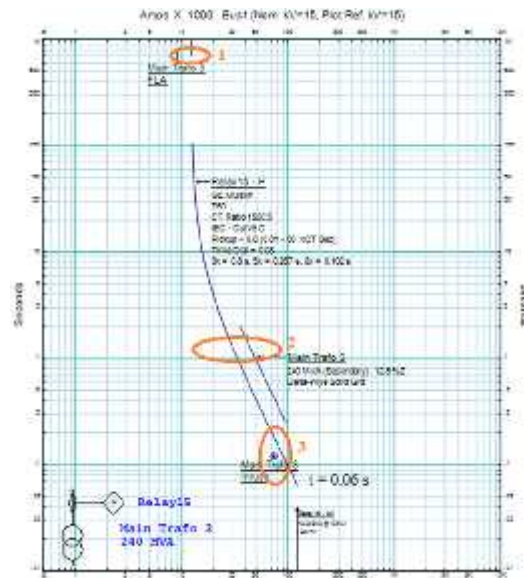
$$TDM = 0.1 \times \left[\frac{\left(\frac{1}{0.779} \right)^E - 1}{0.8} \right]$$

TDM = 0.08

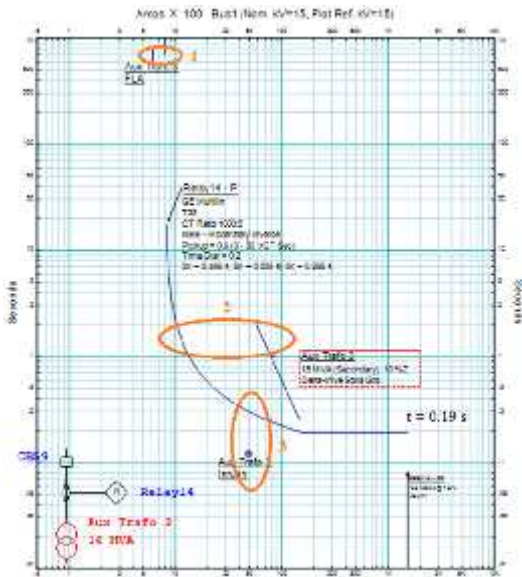
Lakukan penghitungan yang sama dan sesuai kurva arus lebih pada auxiliary transformer sehingga,

Tabel 3.1. Hasil Resetting Relay Transformator

Resetting	Main Trafo	Aux Trafo
Kurva	IEC Curve C	IEC Mod Inverse
Pickup	0.8	0.8
Time dial	0.08	0.2
Waktu	0.06	0.19



Gambar 3.4. Hasil Resetting Relay pada Daerah Main transformer



Gambar 3.5. Hasil *Resetting Relay* pada Daerah *Auxiliary transformer*

3.2.3. Beban Motor 4.16 kV

Boiler Feed Pump

Jenis *Relay* = SR 469 GE Mutilin
 Daya = 2960 kW
 FLA = 487.5 A
 I_{sc} min = 21040 A
 I_{sc} max = 63509 A
 Rasio CT = 750/5

Time Overcurrent Pickup

Dipilih I_{set} = 940 A

Tap = I_{set} / (CT Primary)
 Tap = (920) / 750
 Tap = 1.226 1.23

Time dial multiplier (TDM)

Waktu starting motor = 6 detik

$$T = TDM \times \left[\frac{K}{\left(\frac{I}{I_{sp}} \right)^E - 1} \right]$$

$$TDM = T \left[\frac{\left(\frac{I}{I_{sp}} \right)^E - 1}{K} \right]$$

$$TDM = T \left[\frac{\left(\frac{I}{I_{sp}} \right)^{0.02} - 1}{0.1} \right]$$

$$TDM = 6 \left[\frac{\left(\frac{6}{1.226 \cdot 487.5} \right)^{0.02} - 1}{0.1} \right]$$

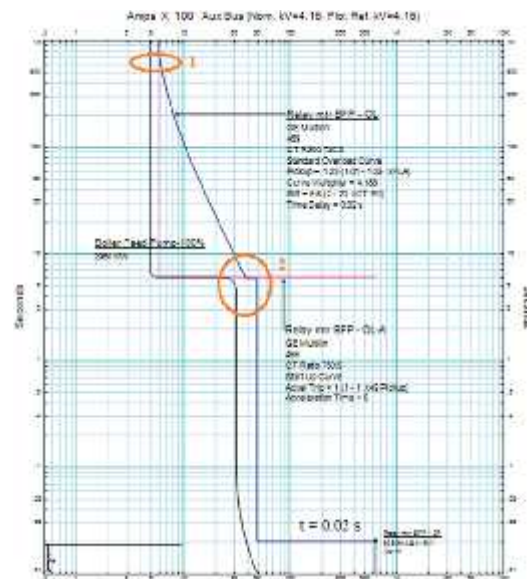
$$TDM = 4.188$$

Instantaneous Pickup

Dipilih I_{set} = 5000 A
 Tap = I_{set} / (CT Primary)
 Tap = (5000) / 750
 Tap = 6.6

Time Delay

Time delay dipilih = 0.02 detik



Gambar 3.6. Hasil *Resetting Relay* Motor Boiler Feed Pump (BFP)

Poin 1

Berdasarkan hasil *resetting relay* pada motor boiler feed pump (BFP) seperti pada gambar 4.8 di atas, maka dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pada poin 1 terlihat bahwa posisi *pickup relay* berada di atas nilai FLA motor BFP dengan nilai FLA sebesar 480 A dan besar arus *pickup* sebesar 590 A (pada gambar posisi *pickup relay* di sebelah kanan FLA motor BFP). Hal ini sesuai karena *relay* bekerja pada arus gangguan yang melebihi nilai FLA motor BFP sesuai pengaturan nilai *pickup relay*. Waktu operasi *relay* berlangsung selama 0.02 detik.

Poin 2

Berdasarkan gambar 3.6, juga dapat di analisis sebagai berikut. Pada poin 2 terlihat bahwa kurva *relay* berada di atas starting *curve* di dalam gambar kurva *relay* terletak di sebelah kanan starting *curve*. Hal ini sesuai karena *relay* tidak bekerja ketika keadaan starting motor yang menarik arus sangat tinggi dengan waktu yang relatif singkat, sehingga arus yang tinggi tersebut bukan dideteksi sebagai gangguan.

Dengan cara perhitungan yang sama dengan perhitungan *relay* motor *boiler feed pump* dilakukan perhitungan untuk *relay-relay* yang lain agar diperoleh *setting relay* yang tepat sehingga *relay-relay* tersebut dapat terkoordinasi dengan baik. Dari hasil perhitungan didapatkan *setting relay* sebagai berikut

Nama Motor

Relay	Setting	Boiler Feed Pump	Forward Drift Fan	Circulating Water Pump	Condensate Pump	Startling Oil Pump	Spare for Motor
Relay Existing	Kurva	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse
	Pickup	1.23 x FLA	1.03 x FLA	1.21 x FLA	1.18 x FLA	1.23 x FLA	1.22 x FLA
	Time Dial	6.6 x CT	7.2 x CT	8.2 x CT	6 x CT	6.4 x CT	6.6 x CT
	Instantaneous	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s
	Delay	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s	0 s
Relay Reseting	Kurva	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse	Standar Inverse
	Pickup	1.23 x FLA	1.03 x FLA	1.2 x FLA	1.2 x FLA	1.267 x FLA	1.23 x FLA
	Time Dial	4.188	2.5	2	3.08	2.8	2.8
	Instantaneous	7 x CT	7.3 x CT	8.2 x CT	6 x CT	6.6 x CT	6.6 x CT
	Delay	0.02 s	0.02 s	0.02 s	0.02 s	0.02 s	0.02 s

Tabel 3.4: Perbandingan Setting Relay Arus Lebih Existing dan Relay Arus Lebih Reseting pada Beban Motor 4.16 kV.

3.2.4. Relay Feeder (Bus 4.16 kV)

Jenis *Relay* = SR 750 Ge Mutilin
 Rasio CT = 4000/5
 Pick up = 0.8 pu
 Kurva = IEC Curve B
 Isc max = 63509 A

Menghitung time dial multiplier (TDM)

Waktu operasi (t) = Waktu starting motor terbesar + waktu antara dua buah *relay* bekerja (standar IEEE = 0.2 – 0.4 s) dipilih 0.3 detik

Waktu operasi (t) = 4 + 0.3
 Waktu operasi (t) = 4.3 detik

$$TDM = T \left[\frac{\left(\frac{I_f}{I_p}\right)^2 - 1}{1.5} \right]$$

$$TDM = 4.3 \left[\frac{\left(\frac{63509}{4000}\right)^2 - 1}{1.5} \right]$$

$$TDM = 6.002 \approx 6$$

Instantaneous Pickup

Dipilih Iset = 19000 A

Tap = Iset / (CT Primary)

Tap = (19000) / 4000

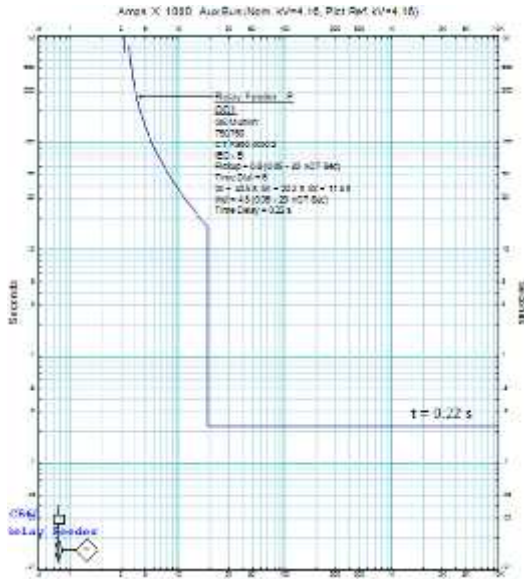
Tap = 4.75

Time Delay

Time delay *relay* bus feeder = time delay motor terbesar + waktu antara 2 buah *relay* bekerja (standar IEEE 0.2 – 0.4 s) dipilih 0.2 detik.

Time delay *relay* bus feeder = 0.02 + 0.2

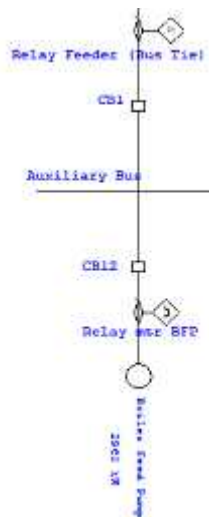
Time delay *relay* bus feeder = 0.22 detik



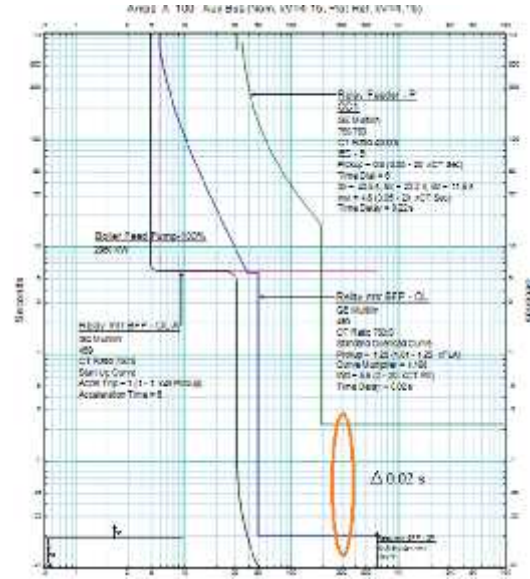
Gambar 3.7. Hasil Plot Setelan Relay Feeder (Bus Tie) 4.16 kV

Berdasarkan gambar 3.7. di atas dapat dilihat bahwa waktu operasi relay sesuai pengaturan yaitu sebesar 0.22 detik.

3.2.5. Koordinasi Tipikal 1



Gambar 3.8. Single Line Diagram Koordinasi Relay Tipikal 1



Gambar 3.9. Hasil Plot Koordinasi Relay Tipikal 1

Berdasarkan hasil plot koordinasi relay tipikal 1 pada gambar 4.16 di atas, maka dapat dijelaskan sebagai berikut.

Hasil dari koordinasi relay antara relay motor boiler feed pump sebagai pengaman utama motor boiler feed pump dan relay feeder sebagai relay backup bekerja baik, mengacu pada standar IEEE Std 242-1986 (batas waktu kerja antara dua buah relay: 0.2 s – 0.4 s), dimana batas waktu antara relay motor boiler feed pump dan relay feeder sebesar 0.2 detik. Jadi, ketika relay pengaman utama motor boiler feed pump bekerja dari mulai relay mendeteksi gangguan hingga kontak circuit breaker terbuka waktu yang dibutuhkan selama 0.02 detik, selang waktu 0.2 detik relay pengaman utama tidak bekerja maka relay backup yang akan bekerja pada waktu 0.22 detik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis tentang sistem proteksi pada PLTU unit 3 PT. PJB UP Gresik untuk relay arus lebih dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada setting relay arus lebih untuk main transformer dan auxiliary transformer

terdapat kesalahan *setting pickup* dan *time dial* sehingga kurva *relay* arus lebih masih menyentuh daerah *damage curve* transformator, hal ini dapat menyebabkan *relay* baru bekerja ketika transformator sudah mengalami kerusakan termal akibat arus lebih.

2. *Setting* nilai *pickup* pada *relay* bagian termal beban motor 4.16 kV sudah sesuai tidak menyentuh kurva ketika arus beban penuh ataupun ketika starting motor yang membutuhkan arus sangat tinggi.

3. Koordinasi untuk kerja *relay* mulai dari beban motor 4.16 kV hingga bus 4.16 kV memiliki hirarki kecepatan bekerja *relay*. Waktu tercepat *relay* beban motor dengan time delay 0.02 detik kemudian pada *relay* feeder (bus 4.16 kV) time delay sebesar 0.22 detik.

4. *Grading time* atau jarak antara 2 buah *relay* bekerja antara *relay* feeder dan beban motor sesuai standar IEEE dimana berada pada rentang: 0.2-0.4 detik.

V. DAFTAR PUSTAKA

[1] GE Digital Energy. 2016. 469 Motor Management Relay Instruction Manual. Kanada: GE Digital Energy.

[2] GE Digital Energy. 2014. Sistem Proteksi Generator G60 Panduan Pengguna Seri UR. Kanada: GE Digital Energy.

[3] GE Digital Energy. 2011. T35 Transformer Protection System UR Series Instruction Manual. Kanada: GE Digital Energy.

[4] GE Digital Energy. 2010. 750/760 Feeder Management Relay Instruction Manual. Kanada: GE Digital Energy.

[5] J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin. 2006. Protective Relaying Principles and Applications J. Lewis Blackburn Thomas J. Domin Third Edition. Norwegia:

CRC Press.

[6] Marsudi, Ditjeng. 2016. Operasi Sistem Tenaga Listrik (Edisi 3). Yogyakarta: Graha Ilmu.

[7] Pandjaitan, Bonar. 2013. Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta: Andi Publisher

[8] Rudianto Putra Pratama. 2011. Perancangan Sistem Proteksi (Over Current dan Ground Fault Relay) untuk Koordinasi Pengaman Sistem Kelistrikan PT. Semen Gresik Pabrik Tuban IV. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

[9] Sumitomo Corporation. 1987. Equipment Operation Manual (Generator and Electrical Equipment). Tokyo Japan: Sumitomo Corporation.

[10] Syahputra, R. 2010. Fault Distance Estimation of Two-Terminal Transmission Line. Proceedings of International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (2nd APTECS), Surabaya, 21-22 Dec 2010, pp.419-423.

[12] Syahputra, R. 2016. Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik. Yogyakarta: LP3M UMY.

[13] Yoyok Triyono, Ontoseno Penangsang, dan Sjamsjul Anam, 2013. Analisis Studi Rele Pengaman (Over Current Relay Dan Ground Fault Relay) pada Pemakaian Distribusi Daya Sendiri dari PLTU Rembang. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

[14] <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/07/relay-arus-lebih.html> (di akses pada tanggal 21 Desember 2017, pukul 19.00 WIB)