



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI
PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PAITON
1 DAN 2**

Saktya Hutami Pinastika
NRP 2212 100 180

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

**ANALYSIS AND EVALUATION OF PROTECTION
COORDINATION SYSTEM ON STEAM POWER PLANT (PLTU)
PAITON UNIT 1 AND 2**

Saktya Hutami Pinastika
NRP 2212 100 180

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisis dan Evaluasi Sistem Koordinasi Proteksi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton 1 dan 2**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 17 April 2017

Saktya Hutami Pinastika
NRP. 2212100180

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM KOORDINASI
PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP (PLTU) PAITON 1 DAN 2**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memeperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP 19660318 199010 1 001

Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
NIP 19800603 200604 1 003

**SURABAYA
APRIL, 2017**

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM KOORDINASI
PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP (PLTU) PAITON 1 DAN 2**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memeroleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP 19660318 199010 1 001

Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
NIP 19800603 200604 1 003



ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PAITON 1 DAN 2

Saktya Hutami Pinastika
2212100180

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

Dosen Pembimbing 2 : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Proteksi terhadap sistem kelistrikan serta peralatannya adalah hal yang sangat dibutuhkan dan sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Sistem proteksi berperan penting dalam mendeteksi adanya gangguan dan dapat mencegah kerusakan yang terjadi. Setting dan koordinasi rele pengaman yang tepat diperlukan agar rele pengaman selektif dalam mengamankan daerah yang terjadi gangguan. PLTU Paiton merupakan salah satu kompleks pembangkit yang sangat vital dan penting. Apabila terjadi kerusakan atau gangguan, bisa jadi sebagian Jawa akan mengalami pemadaman bergilir atau *black out* Jawa-Bali apabila tidak dilindungi oleh pengaman yang tepat. Selama lima tahun belum dilakukan review mengenai koordinasi proteksi. Oleh karena itu, diperlukan studi untuk mengevaluasi dan meningkatkan keandalan sistem. Tugas Akhir ini akan membahas analisis dan evaluasi terhadap koordinasi rele pengaman pada PLTU Paiton. Pembahasan yang akan dibahas bagaimana menentukan setting koordinasi rele seperti rele arus lebih fasa dan rele ground fault yang tepat pada sistem kelistrikan. Dari hasil analisis koordinasi proteksi kurva arus waktu kondisi *existing* dapat diketahui bahwa beberapa CB bekerja jauh di atas perhitungan setting sehingga CB tidak bisa mengamankan bila ada gangguan overload. Melalui hasil analisis dan perhitungan manual direkomendasikan penyetelan *pick up* rele arus lebih dan penyetelan *grading time* rele. Hasil plot koordinasi kurva arus waktu *existing* untuk rele arus lebih gangguan tanah masih menggunakan kurva invers disarankan untuk melakukan reseting dan hanya menggunakan kurva waktu instan (*definite time*).

Kata Kunci: Gangguan, Koordinasi Proteksi, Rele Pengaman.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS AND EVALUATION OF PROTECTION COORDINATION SYSTEM ON STEAM POWER PLANT (PLTU) PAITON UNIT 1 AND 2

Saktya Hutami Pinastika
2212100180

1st Advisor : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2nd Advisor : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Protection against electrical systems and equipment is very necessary and very important in the power system. Protection system plays an important role in detecting the disturbance and may prevent damage that caused by disturbance. Good coordination protection system can improve the reliability of power system and isolate the area from disturbance so can prevent blackouts in other areas. Paiton is one of the plants that very vital and important. In case of damage or disturbances, it could be part of Java will experiences rolling blackouts or lose the Java-Bali power if it is not protected by a reliable and right protection. This final project will discuss the analysis and evaluation of the safety relay coordination at Paiton Power Unit 1 and 2. The discussion that will be addressed in this final project is how to determine settings such coordination of phase overcurrent and ground fault relay is right and reliable on the electrical system. From the analysis of the time current curve protection coordination in existing condition can be seen that some CB work far above from the calculation setting, so that the CB can not be secure when there is overload disturbance. Through the analysis and manual calculation recommended setting overcurrent relays pick up and adjustment grading time relay. The results of plot existing coordination time current curve for overcurrent ground fault relays show using inverse curve. It is not appropriate because the value of the fault current is definitely, so that the setting for the relay use the definite curve.

Key Words: Disturbances, Coordination of Protection, Relay.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

ANALISIS DAN EVALUASI SISTEM KOORDINASI PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PAITON UNIT 1 DAN 2

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi tahap sarjana pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, antara lain :

1. Segenap keluarga tercinta, terutama Abi, Umi, Kakak, dan Adik tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Bapak Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Seluruh rekan dan sahabat, Fauziah, Evira, Nitya, Lury, Dwi Indah, Roni, Hanif, Bagus, Uut, Wakil, dan Ubaidillah yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama ini.
4. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, sahabat-sahabat E-52 (2012), para dosen, karyawan, serta seluruh mahasiswa atas dukungan, masukan serta kerjasamanya sepanjang masa perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir ini.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik, saran serta koreksi yang membangun dari pembaca untuk perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Maret 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
1.7 Manfaat.....	5
BAB 2 DASAR TEORI	
2.1 Gangguan yang diamankan pengaman arus lebih.....	7
2.1.1 Gangguan beban lebih	8
2.1.2 Gangguan hubung singkat.....	8
2.2 Perhitungan arus hubung singkat	11
2.3 Rele Arus Lebih	11
2.3.1 Rele arus lebih waktu tertentu	12
2.3.2 Rele arus lebih waktu <i>inverse</i>	12
2.3.3 Rele arus lebih waktu instan	13
2.4 Penyetelan Rele arus lebih	14
2.4.1 <i>Setting</i> rele arus lebih waktu <i>inverse</i>	14
2.4.2 <i>Setting</i> rele arus lebih waktu instan	15
2.4.3 Koordinasi berdasarkan arus dan waktu	16
2.5 Rele gangguan tanah	17
2.6 Penyetelan Rele Gangguan Tanah	17

**BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA UAP (PLTU) PAITON UNIT 1 DAN 2**

3.1 Sistem Kelistrikan di PLTU Paiton Unit 1 dan 2 19
3.2 Kapasitas Pembangkitan 21
3.3 Jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan *demand* 21
3.4 Sistem Distribusi di PLTU Paiton Unit 1 dan 2 22

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan PLTU Paiton Unit 1 dan 2 25
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PLTU Paiton Unit 1 dan 2 ... 25
4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat 26
 4.3.1 Hubung Singkat minimum 27
 4.3.2 Hubung Singkat maksimum 27
4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa 28
 4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa tipikal 1 29
 4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa tipikal 2 36
 4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa tipikal 3 45
4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah 54
 4.5.1 Koordinasi Rele Arus Gangguan ke Tanah Tipikal 1 55
 4.5.2 Koordinasi Rele Arus Gangguan ke Tanah Tipikal 2 58

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan 67
5.2 Saran 68

DAFTAR PUSTAKA 69
RIWAYAT HIDUP PENULIS 71
LAMPIRAN(SINGLE LINE DIAGRAM) 73

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 1.1	<i>Flow Chart</i> metodologi tugas akhir3
Gambar 2.1	Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu..... 12
Gambar 2.2	Karakteristik <i>standard invers, very invers, extremely invers</i> 13
Gambar 2.3	Karakteristik rele arus lebih instan..... 13
Gambar 2.4	Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih instan 14
Gambar 2.5	Rele arus lebih pengamanan trafo..... 16
Gambar 3.1	Sistem kelistrikan eksisting Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1.....20
Gambar 4.1	<i>Single line diagram</i> PLTU Paiton Unit 1 26
Gambar 4.2	<i>Single line diagram</i> Tipikal 1 29
Gambar 4.3	<i>Time current curve existing</i> tipikal 1 30
Gambar 4.4	<i>Time current curve resetting</i> tipikal 1 34
Gambar 4.5	<i>Time current curve resetting</i> tipikal 1 ketika gangguan pada belitan motor BFP A 35
Gambar 4.6	<i>Single line diagram</i> Tipikal 2 36
Gambar 4.7	<i>Time current curve existing</i> tipikal 2 37
Gambar 4.8	<i>Time current curve resetting</i> tipikal 2 43
Gambar 4.9	<i>Time current curve resetting</i> tipikal 2 ketika gangguan pada belitan motor PA FAN A 44
Gambar 4.10	<i>Single line diagram</i> Tipikal 3 46
Gambar 4.11	<i>Time current curve existing</i> tipikal 3 47
Gambar 4.12	<i>Time current curve resetting</i> tipikal 3 52
Gambar 4.13	<i>Time current curve resetting</i> tipikal 3 ketika gangguan pada belitan beban TURBINE 53
Gambar 4.14	<i>Single line diagram</i> Tipikal 1 gangguan tanah 55
Gambar 4.15	<i>Time current curve existing</i> gangguan tanah tipikal 1 ...56
Gambar 4.16	<i>Time current curve resetting</i> gangguan tanah tipikal 1..58
Gambar 4.17	<i>Single line diagram</i> Tipikal 2 gangguan tanah 59
Gambar 4.18	<i>Time current curve existing</i> gangguan tanah tipikal 2 tegangan 3 kV 60
Gambar 4.19	<i>Time current curve existing</i> gangguan tanah tipikal 2 tegangan 10 kV 61

Gambar 4.20 *Time current curve resetting* gangguan tanah tipikal 2
tegangan 3 kV..... 64

Gambar 4.21 *Time current curve resetting* gangguan tanah tipikal 2
tegangan 10 kV..... 65

\

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 2.1	Gambar rangkaian dan persamaan gangguan <i>shunt</i>	9
Tabel 2.2	Koefisien invers <i>time dial</i>	15
Tabel 3.1.	Data kapasitas pembangkit di PLTU Paiton Unit 1 dan 2 ...	21
Tabel 3.2.	Jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan <i>Demand</i>	22
Tabel 3.3.	Data kapasitas <i>transformator</i>	22
Tabel 3.4.	Data <i>busbar</i>	23
Tabel 4.1.	Data hubung singkat minimum	27
Tabel 4.2.	Data hubung singkat maksimum	28

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Koordinasi proteksi sudah menjadi masalah yang umum dan harus bisa diatasi agar bisa menjaga kontinuitas dan meningkatkan keandalan dari suatu sistem kelistrikan sehingga harus didesain agar rele proteksi dapat beroperasi untuk mendeteksi adanya gangguan dan dapat mencegah kerusakan yang diakibatkan gangguan. Proteksi merupakan hal yang sangat dibutuhkan dan sangat penting dalam sistem tenaga listrik karena dapat mencegah kerugian produksi yang besar akibat padamnya peralatan atau kerusakan peralatan yang disebabkan oleh adanya gangguan atau *overload*. Kontinuitas pasokan daya pada suatu industri sangat diperlukan untuk memastikan proses produksi tetap terlaksana maka diperlukan koordinasi proteksi yang baik. Ketika CB yang paling dekat dengan titik gangguan mengalami kegagalan maka CB *backup* arus gangguan yang mengalir pada sistem tenaga listrik menyebabkan beroperasinya rele proteksi dan menggerakkan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) dan aliran daya yang mengalir terputus akan segera bekerja sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Diharapkan ketika terjadi gangguan maka pemutus atau *circuit breaker* (CB) yang terletak paling dekat dengan titik gangguan dapat bekerja terlebih dahulu.

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Paiton merupakan pembangkit listrik yang dibangun oleh pemerintah Indonesia sebagai pemasok tenaga listrik Jawa-Bali. PLTU Paiton merupakan salah satu kompleks pembangkit yang sangat vital dan penting. Apabila terjadi kerusakan atau gangguan, bisa jadi sebagian Jawa akan mengalami pemadaman bergilir atau *black out* atau kehilangan listrik Jawa-Bali apabila tidak dilindungi oleh pengaman yang handal dan tepat. Oleh karena itu perlu dilakukan koordinasi proteksi seperti rele arus lebih fasa dan rele ground fault yang aman dan handal pada sistem kelistrikan.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui bagaimana pola operasi kelistrikan dan sistem proteksi di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton 1 dan 2

2. Berapa besar arus hubung singkat saat terjadi gangguan di PLTU Paiton 1 dan 2.
3. Bagaimana setting koordinasi rele arus lebih fasa dan ground fault yang tepat pada sistem kelistrikan di PLTU Paiton 1 dan 2

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut :

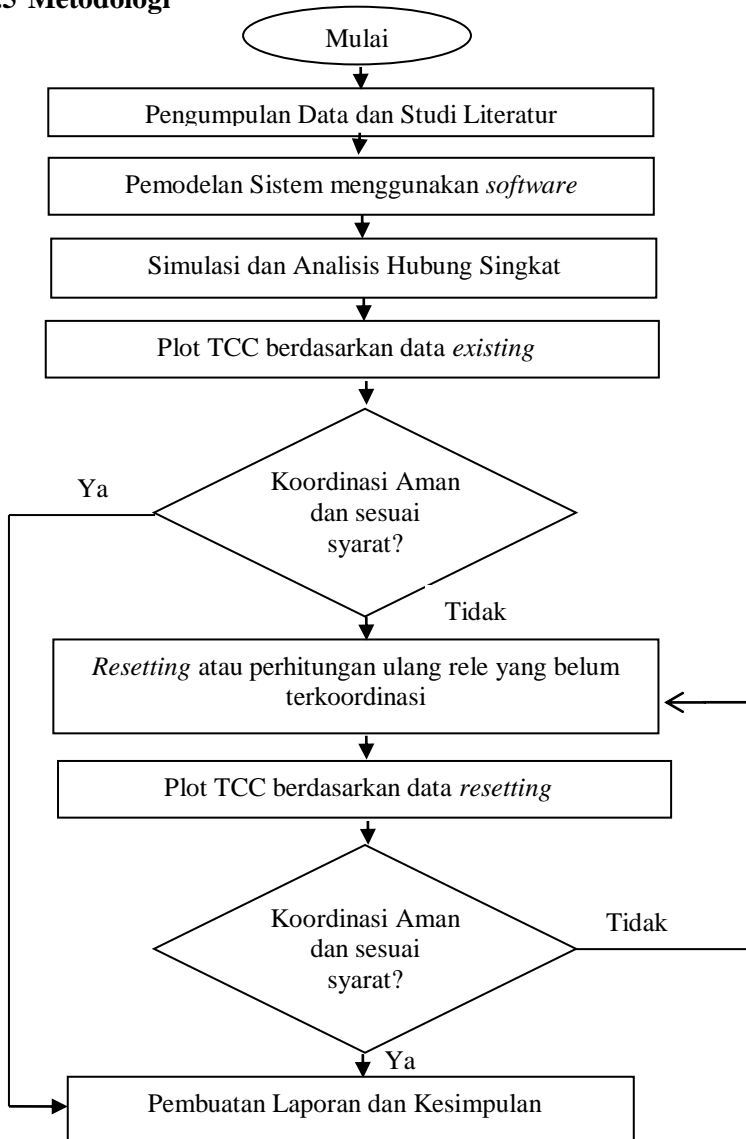
1. Memodelkan, mensimulasikan dan menganalisis sistem kelistrikan di PLTU Paiton 1 dan 2
2. Mengetahui besarnya arus hubung singkat serta menganalisa dan mensimulasikan koordinasi rele arus lebih dan rele groundfault yang tepat pada sistem kelistrikan untuk mendapatkan sistem yang aman dan handal.

1.4 Batasan Masalah

Batasan Masalah pada tugas akhir ini adalah mengkoordinasikan dan mengatur :

1. Rele arus lebih fasa (50/51)
2. Rele arus lebih *ground* (50/51 G)

1.5 Metodologi



Gambar 1.1 *Flow chart* metodologi tugas akhir

Metode Penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Mengumpulkan buku dan referensi mengenai Power Sistem Analysis yang dilakukan mengenai koordinasi proteksi.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan Data Single Line Diagram, Spesifikasi peralatan-peralatan listrik yang meliputi: generator (governor dan eksiter), rating kabel, transformator, motor listrik, bus, serta pola operasinya.

3. Pemodelan Sistem

Menginterpretasikan dan menganalisis data yang diperoleh untuk disesuaikan dengan jenis dan format yang dibutuhkan untuk simulasi sistem dengan komputer. Hasil pengolahan dan analisis data ini akan digunakan untuk meng update data/single line diagram. Pemodelan sistem dilakukan agar nantinya dapat dilakukan studi aliran daya serta dapat dilihat arus hubung singkat yang terjadi.

4. Simulasi dan Analisis Hubung Singkat

Simulasi dilakukan untuk mengetahui hubung singkat tiap bus. Nilai arus hubung singkat yang dibutuhkan adalah arus gangguan hubung singkat minimum dan maksimum pada setiap bus. Nilai arus gangguan hubung singkat maksimum adalah gangguan hubung singkat 3 fasa sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah gangguan hubung singkat antar fasa. Nilai arus tersebut nantinya akan digunakan untuk menentukan setting rele proteksi.

5. Perhitungan *Setting Rele*

Melakukan perhitungan untuk mendapatkan *setting* pada rele dengan mempertimbangkan parameter yang ada.

6. Plot TCC

Plot TCC digunakan untuk melihat apakah koordinasi proteksi dan *setting* rele sudah benar. Apabila terjadi kesalahan maka perlu dilakukan *resetting*.

7. Penarikan kesimpulan

Memberikan kesimpulan dan rekomendasi tentang *setting* koordinasi rele proteksi pada PLTU Paiton 1 dan 2 serta memberikan saran untuk mengatasi gangguan-gangguan yang terjadi.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat, metodologi, dan sistematika pembahasan.

BAB 2 : KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB 3 : SISTEM KELISTRIKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PAITON

Bab ini menjelaskan mengenai konfigurasi kelistrikan eksisting pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton (PLTU) 1 dan 2

BAB 4 : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS KOORDINASI PROTEKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PAITON

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perhitungan-perhitungan dan hasil simulasi yang telah dilakukan. Bab ini menyajikan analisis terhadap koordinasi setelan rele ketika terjadi hubung singkat serta beberapa rekomendasi untuk setelan rele sehingga menghasilkan koordinasi yang lebih baik.

BAB 5 : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan

1.7 Relevansi dan Manfaat

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat membawa manfaat sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai masukan bagi PLTU Paiton 1 dan 2 dalam melakukan koordinasi proteksi yang tepat, handal, dan aman.
2. Dapat menjadi referensi mengenai koordinasi rele arus lebih dan rele gangguan ke tanah bagi mahasiswa yang akan mengerjakan tugas akhir dengan permasalahan serupa

BAB 2

KOORDINASI PROTEKSI SISTEM KELISTRIKAN

Koordinasi proteksi dalam sistem tenaga listrik berperan penting untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat terjadinya gangguan. Ketika terjadi gangguan dalam sistem tenaga listrik, sistem proteksi harus mampu mengisolir arus gangguan agar tidak terjadi kerusakan pada peralatan dan kontinuitas pelayanan tetap terjaga [1]. Banyak sekali masalah yang berhubungan dengan proteksi dari masalah hubung singkat sampai permasalahan dengan grounding sistem. Karena proteksi harus disetting agar merasakan gangguan secepatnya dan mengisolasi gangguan secepatnya maka terkadang masalah proteksi menjadi masalah yang cukup kompleks. Rele rele untuk proteksi ada banyak macamnya, salah satunya adalah rele arus lebih dan rele groundfault .

Rele proteksi dalam suatu industri merupakan suatu bagian yang sangat penting karena dapat mencegah kerugian dalam suatu industri yang disebabkan padamnya peralatan atau kerusakan peralatan yang tidak perlu yang disebabkan oleh adanya gangguan atau *overload*. Arus gangguan yang mengalir pada sistem tersebut nantinya akan menyebabkan beroperasinya rele proteksi dan menggerakkan pemutus tenaga sehingga aliran daya akan terputus. Hal inilah yang terkadang dapat menyebabkan kerugian dalam suatu industri.

Pemilihan rele proteksi harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut : Proteksi maksimum, biaya peralatan minimum, proteksi yang handal, operasi cepat, desain simpel, sensitivitas tinggi terhadap gangguan, dan tidak sensitif terhadap arus beban normal.

Umumnya, rele kecepatan-tinggi (misal, waktu operasi *breaker 1 cycle* hingga *3cycle*). Jika gangguan tidak terisolasi setelah beberapa waktu *delay*, proteksi *backup* akan bekerja dengan melakukan *trip circuit breaker* utama atau dengan melakukan *trip circuit breaker* pada zona yang berdekatan.

2.1 Gangguan yang Diamankan Pengaman Arus Lebih [2].

Dalam sistem kelistrikan ada beberapa gangguan yang dapat menyebabkan arus lebih. Gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*).

2.1.1 Gangguan Beban Lebih

Gangguan ini terjadi karena arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diizinkan ($I > I_n$). Pada saat gangguan ini terjadi arus yang mengalir melebihi dari kapasitas peralatan listrik (trafo, generator, motor, dll) dan pengamanan yang terpasang. Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus, maka dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat akan mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan juga akan dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Hal ini sangat berbahaya mengingat arus yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat sangat besar.

Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri). Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan yang lainnya merupakan gangguan hubung singkat tak simetri.

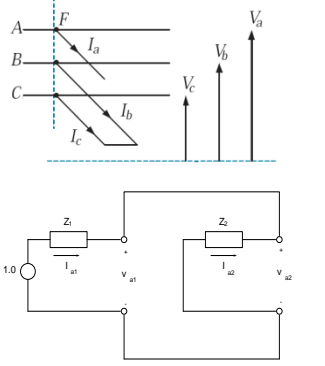
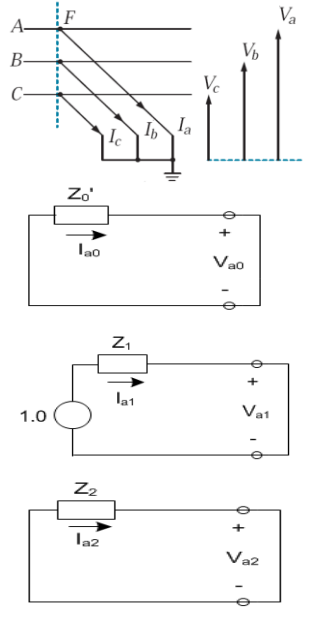
Sebagian besar gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetri. Gangguan tak simetri ini terjadi sebagai akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat dua fasa, atau gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. Gangguan dapat diperkecil dengan cara pemeliharannya.

Adanya gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan rusaknya peralatan listrik, berkurangnya stabilitas daya, dan terhentinya kontinuitas daya akibat membukanya pemutus tenaga. Di **tabel 2.1** dibawah ini kita bisa melihat rangkaian pengganti dan persamaan yang menerangkan tentang hubung singkat.

Tabel 2.1 Gambar rangkaian dan persamaan gangguan *shunt*

Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat & Rangkaian Pengganti	Persamaan
1 fasa ke tanah		$I_b = 0$ $I_c = 0$ $V_a = 0$ $I_{a1} = \frac{3V_f}{Z1 + Z2 + Z0}$
2 fasa ke tanah		$I_a = 0$ $V_b = 0$ $V_c = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z1 + Z2Z0 / (Z2 + Z0)}$

Tabel 2.1 Gambar rangkaian dan persamaan gangguan *shunt* (lanjutan)

<p>Antar fasa</p>		$I_a = 0$ $I_b = -I_c$ $V_b = V_c$ $I_{a1} = \left \pm j \frac{\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2} \right $
<p>3 fasa langsung (simetri)</p>		$V_{a0} = 0$ $V_{a2} = 0$ $I_{a0} = 0$ $I_{a2} = 0$ $I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1}$

2.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Kita dapat menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi dengan cara sebagai berikut[3] :

- **Hubung Singkat Tiga Fasa**

Hubung singkat ini melibatkan ketiga fasa. Arus hubung singkat tiga fasa (I_{sc3}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc3} = \frac{V_{LN}}{X_1} \dots\dots\dots (1)$$

Di mana V_{LN} adalah tegangan nominal *line to netral*, dan X_1 adalah reaktansi urutan positif.

- **Hubung Singkat Antar Fasa**

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc2}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc2} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3} \approx 0.86 I_{sc3} \dots\dots\dots (2)$$

- **Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah**

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc0}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc0} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0} \dots\dots\dots (3)$$

2.3 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Untuk mengatasi gangguan arus lebih salah satunya kita dapat menggunakan rele arus lebih. Rele arus lebih adalah rele yang beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut [4]:

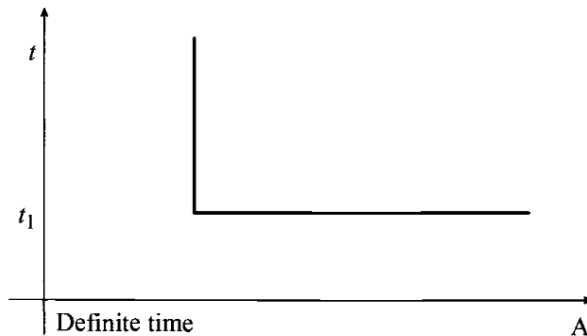
$I_f > I_p$	rele bekerja	(<i>trip</i>)
$I_f < I_p$	tidak bekerja	(blok)

Dimana I_p merupakan arus kerja yang dinyatakan menurut gulungan sekunder dari trafo arus (CT). Dan I_f merupakan arus gangguan yang juga dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT. Rele arus lebih ini hampir melindungi semua bagian pada sistem tenaga listrik misalnya jaringan transmisi, trafo, generator, dan motor. Rele arus

lebih dapat berupa Rele arus lebih waktu tertentu, Rele arus lebih waktu *invers*, Rele arus lebih waktu instan.

2.3.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

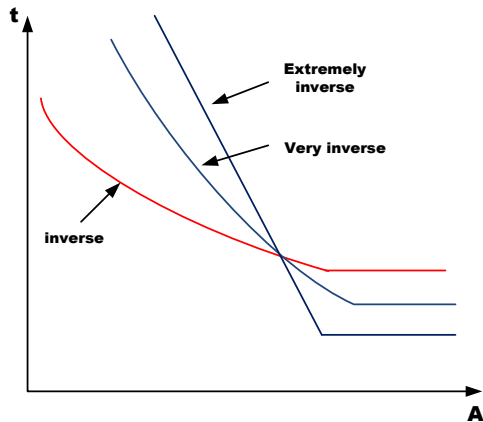
Setelan rele pengaman dengan menggunakan karakteristik waktu tertentu yang disetel pada rele hanya didasarkan pada waktu kerjanya rele pengaman dengan tidak melihat besarnya arus gangguan. Dengan kata lain, semua level arus yang melebihi *pickup set point*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama.



Gambar 2.1 Karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

2.3.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers

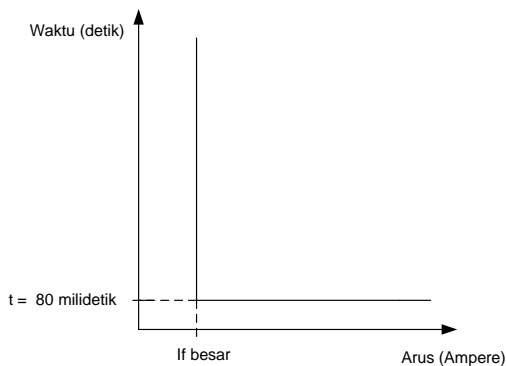
Rele arus lebih waktu invers memiliki karakteristik dimana semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat. Sebaliknya, jika arus gangguan kecil maka waktu tunda operasi rele akan lebih lama. Karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers digambarkan dalam kurva arus-waktu atau yang biasa disebut *time-current characteristic* (TCC). Dalam standart *IEEE std 242-2001* ada beberapa karakteristik kurva inverse, yaitu *long time inverse*, *very inverse*, *short time inverse* dan *extreme inverse*[5]. Penggunaannya juga bisa dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan yang nanti akan dijelaskan lebih lanjut.



Gambar 2.2 Karakteristik *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*

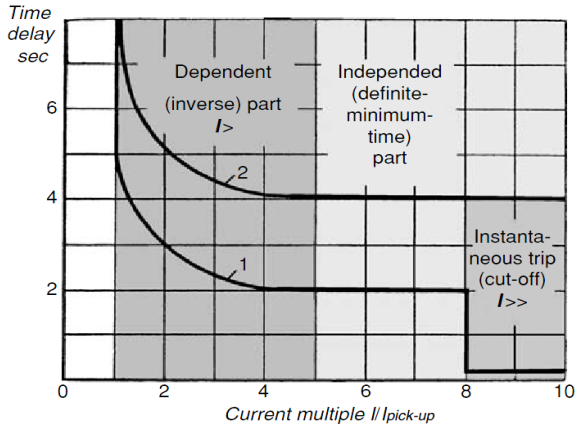
2.3.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Prinsip kerja rele jenis ini adalah tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat. Pada setelan koordinasi pengaman di sistem distribusi tegangan menengah disebut dengan setelan instan. Bekerjanya rele ini didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan membukanya CB dalam waktu cepat sekali (80 ms).



Gambar 2.3 Karakteristik rele arus lebih *instan*

Gambar menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih waktu instan



Gambar 2.4 Kombinasi IDMT dengan rele arus lebih waktu instan [6]

2.4 Penyetelan Rele Arus Lebih

2.4.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers

Untuk setting rele arus lebih waktu invers ini kita dapat mensetting dua bagian yaitu setelan *pickup* dan setelan time dial. Untuk setelan *pickup*, batas penyetelan rele arus lebih adalah rele tidak bekerja pada saat beban maksimum. Oleh karena itu *setting* arusnya harus lebih besar dari arus beban maksimum. Pada rele arus lebih, besarnya arus *pickup* ini ditentukan dengan pemilihan *tap*. Adapun untuk menentukan besarnya *tap* yang digunakan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT\ primary} \dots\dots\dots (4)$$

I_{set} adalah arus *pickup* dalam Ampere. Batas penyetelannya adalah 1.05FLA-1.4 FLA peralatan sesuai dengan persamaan berikut:

$$1.05\ FLA < I_{set} < 1.4\ FLA \dots\dots\dots (5)$$

Dimana FLA adalah adalah arus saat beban maksimum perlatan.

Setelan *time dial* menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$td = \frac{k \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots\dots\dots (6)$$

Di mana :

- td = waktu operasi (detik)
- T = *time dial*
- I = nilai arus (Ampere)
- Iset = arus *pickup* (Ampere)
- k = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.2)
- α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.2)
- β = koefisien invers 3 (lihat Tabel 2.2)

Tabel 2.2 Koefisien invers *time dial*

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,97
<i>Very Inverse</i>	13,5	1	1,5
<i>Extremely Inverse</i>	80	2	0,808
<i>Ultra Inverse</i>	315,2	2,5	1

2.4.2 *Setting Rele Arus Lebih Instan*

Rele arus lebih instan, seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2.3.3 akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc \text{ min}}$ yaitu arus hubung singkat 3 fasa pada 30 *cycle*. Sehingga *setting* ditetapkan:

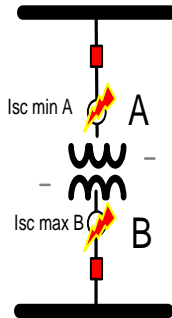
$$1,6 \text{ FLA} \leq I_{set} \leq 0,8 I_{sc \text{ min}} \dots\dots\dots (7)$$

Nilai 0.8 adalah faktor keamanan dari sistem proteksi untuk estimasi apabila terjadi gangguan yang lebih kecil dari arus hubung singkat minimum.

Selain itu ada juga kondisi khusus yang perlu kita perhatikan dalam mensetting rele arus lebih waktu instan ini. Salah satunya adalah kondisi khusus untuk pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh trafo,

koordinasi pengaman dibedakan menjadi dua daerah, yakni daerah *low voltage* (LV), dan daerah *high voltage* (HV) seperti pada Gambar . Untuk menentukan *setting pickup* dengan syarat sebagai berikut:

$$I_{sc \max \text{ bus B}} \leq I_{set} \leq 0.8 I_{sc \min, A} \dots\dots\dots (8)$$



Gambar 2.5 Rele arus lebih pengamanan trafo

Di mana $I_{sc \max \text{ bus B}}$ merupakan arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B, sedangkan $I_{sc \min, A}$ adalah arus hubung singkat minimum pada titik A.

2.4.3 Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu

Koordinasi ini adalah untuk menentukan *time delay* pada rele pengaman. Antara rele pengaman utama dan rele pengaman backup tidak boleh bekerja secara bersamaan. Untuk itu diperlukan adanya *time delay* antara rele utama dan rele *backup*. *Time delay* ini sering disebut dengan *grading time* Dengan spesifikasi sebagai berikut menurut standard IEEE 242 :

- Waktu buka CB : 0.06 – 0.1s (3-5 cycle)
- Overtravel* dari rele : 0.1s
- Faktor keamanan : 0.12-0.22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele diabaikan [1].

2.5 Rele Gangguan tanah

Gangguan satu fasa ke tanah dapat diamankan dengan rele gangguan tanah. Rele ini adalah pengaman arus lebih yang dilengkapi *zero sequence current filter*. Rele gangguan ke tanah dapat digunakan pada sistem yang dibatasi arus gangguan ke tanahnya menggunakan sistem pentanahan.

2.6 Penyetelan Rele Gangguan tanah

Pertimbangan pada *setting* koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah adalah:

- Arus urutan nol akan terisolasi pada trafo belitan delta
- Arus urutan nol akan mengalir dari sumber gangguan trafo belitan Wye

Sedangkan untuk *setting* rele gangguan ke tanah adalah :

$$5-10\% \times I_{sc\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc\ L-G} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan $I_{sc\ L-G}$ merupakan arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

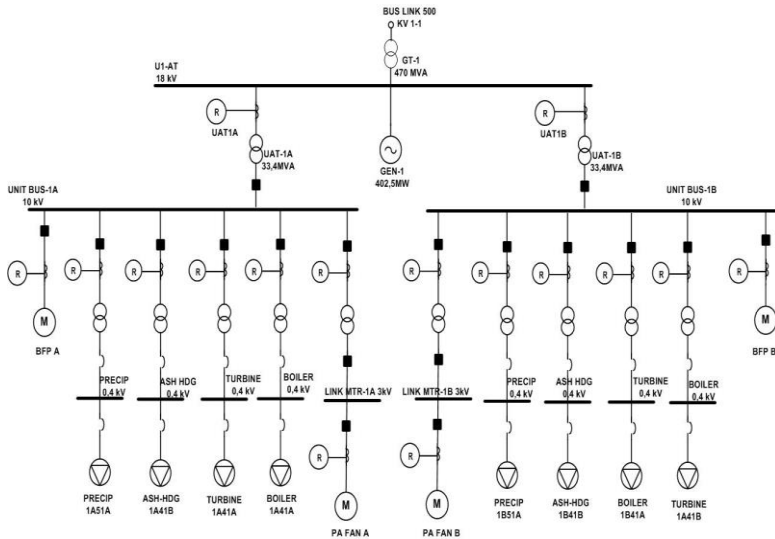
SISTEM KELISTRIKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PAITON UNIT 1 DAN 2

3.1 Sistem Kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton

Unit Pembangkitan Paiton adalah sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang dikelola oleh PT Pembangkitan Jawa-Bali. Pembangkit ini berada di kompleks pembangkit listrik di Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo. Tepatnya berada di posisi paling timur kompleks yang berada di tepi jalur pantura Surabaya-Banyuwangi. Pembangkit ini mengoperasikan 2 PLTU dengan total kapasitas 800 MW. Unit Pembangkitan Paiton dioperasikan menggunakan bahan bakar batu bara, setiap tahun membangkitkan energi listrik rata-rata 5.606,18 GWh yang disalurkan melalui Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV ke sistem interkoneksi Jawa, Madura dan Bali.

Setiap pembangkit memiliki sistem kelistrikan yang berbeda-beda, sistem ini dirancang dan dibuat pada saat awal pembangunan suatu pembangkit tersebut. Ada beberapa level tegangan yang disediakan untuk mensupply beberapa jenis beban atau peralatan yang digunakan untuk memproduksi tenaga listrik.

Secara umum proses konversi energi kimiawi ke sistem energi listrik membutuhkan banyak tenaga listrik, dengan alasan untuk membangkitkan listrik diperlukan banyak penggunaan energi listrik untuk mengoperasikan tiga alat utama pada pembangkit listrik (boiler, turbin dan generator) yang dibantu dengan sistem alat bantu, dimana alat bantu dan beberapa komponen penunjang ini digerakan oleh motor motor listrik. Pemakaian daya alat penunjang ini merupakan pemakaian sendiri yang besarnya mencapai kurang lebih 7% dari kapasitas pembangkit. Sistem kelistrikan eksisting dapat dilihat pada **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 Sistem Kelistrikan Eksisting Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1

Sistem PLTU memerlukan sejumlah peralatan bantu seperti pompa, fan dan sebagainya untuk dapat membangkitkan tenaga listrik. Hampir semua peralatan ini menggunakan tenaga listrik dalam pengoperasiannya. Besarnya tenaga listrik yang diperlukan untuk pemakaian sendiri bervariasi antara sekitar 7 % untuk PLTU kecil, hingga 4 % untuk PLTU dengan kapasitas 1000 MW. Sistem yang mendistribusikan daya untuk motor dan semua peralatan listrik di unit PLTU sering disebut daya pemakaian sendiri.

Distribusi daya pemakaian sendiri ini dapat dibagi menjadi dua kategori sesuai kebutuhan sistem di dalam unit pembangkit :

- ❖ **Sistem Tegangan Menengah.**

Distribusi daya pemakaian sendiri yang termasuk dalam sistem tegangan menengah adalah supply tegangan 10kV unit bus serta tegangan 3kV dari auxiliary transformer (AT) 10/3 kV 10MVA.

- ❖ **Sistem Tegangan Rendah.**

Distribusi daya pemakaian sendiri yang termasuk dalam sistem tegangan rendah adalah supply tegangan 400V,

dari PDC transformer 10/400 kV. Serta tegangan 220VAC maupun 220VDC dan 110VDC.

3.2 Kapasitas Pembangkitan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1 dan 2 memiliki 2 unit pembangkit dengan kapasitas beban auxiliary yang sama. Namun dalam pengoperasian peralatannya hanya beberapa peralatan penting yang dioperasikan dalam mendukung proses pembangkitan listrik dikarenakan beberapa peralatan memiliki fungsi dan saluran yang sama sehingga cukup menggunakan dari salah satu unit saja.. Generator tersebut tersebar dalam dua unit yaitu satu generator di unit 1 dan satu di unit 2. Total kapasitas terpasang pada unit 1 sebesar 402,5 MW dan unit 2 sama dengan unit 1 yaitu sebesar 402,5 MW.

Tabel keseluruhan unit pembangkit di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1 dan 2 ditunjukkan pada **tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Data Kapasitas Pembangkit di PLTU Paiton Unit 1 dan 2

Power Plant	No.	ID unit	Tegangan (KV)	Kapasitas (MW)
Unit 1	1.	Gen-1	18	402,5
		Total		
Power Plant	No.	ID unit	Tegangan (KV)	Kapasitas (MW)
Unit 2	1	Gen-2	18	402,5
		Total		

3.3 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Demand

Summary dari jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan *demand* dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1 dan 2 dapat dilihat pada **Tabel 3.2** berikut:

Tabel 3.2 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, dan *Demand*

	MW	Mvar	MVA	% PF
<i>Source (swing bus)</i>	59.350	30.700	66.820	88.82 Lag
<i>Total Demand</i>	59.350	30.700	66.820	88.82 Lag
<i>Total Motor Load</i>	56.898	25.133	62.202	91.47 Lag
<i>Total Static Load</i>	2.200	1.364	2.589	85.00 Lag

3.4 Sistem Distribusi di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1 dan 2

Dalam sistem distribusi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1 dan 2 ditunjang dengan beberapa transformator sebelum masuk ke beban guna menurunkan tegangan. **Tabel 3.3** adalah data Transformator tersebut.

Tabel 3.3 Data Kapasitas *Transformator*

No	ID	MVA	kV	%Z	Hubungan
4	AT-1A	10	10/3	4	delta/wye
5	AT-1B	10	10/3	4	delta/wye
6	GT-1	470	500/18	7	wye/ delta
7	UAT-1A	33.4	18/10	4.5	delta/wye
8	UAT-1B	33.4	18/10	4.5	delta/wye
9	TRF-ASH HDG 1A41B	1.3	10/0.4	4	delta/wye
10	TRF-ASH HDG 2A41B10	1.3	10/0.4	4	delta/wye
11	TRF BOILER 1B41A	2	10/0.4	5.75	delta/wye
12	TRF BOILER 2A41B10	2	10/0.4	5.75	delta/wye

Tabel 3.3 Data Kapasitas *Transformator* (lanjutan)

No	ID	MVA	kV	%Z	Hubungan
14	TRF- PRECIP 2A51B10	2	10/0.4	5.75	delta/wye
15	TRF- TURBINE 1A31A	2	10/0.4	5.75	delta/wye
16	TRF- TURBINE 1B31A	2	10/0.4	5.75	delta/wye

Data dari bus – bus pada sistem kelistrikan PLTU Paiton dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data Busbar

No.	Busbar	Tegangan (kV)
1	ASH HDG 1A41A	0,4
2	ASH HDG 1B41B	0,4
3	BOILER 1A41A	0,4
4	BOILER 1B41A	0,4
5	BUS LINK 500 K-V 1-1	500
6	MTR1A-3KV	3
7	MTR1B-3KV	3
8	PRECIP 1A51A	0,4
9	PRECIP 1B51A	0,4
10	TURBINE 1A31A	0,4
11	TURBINE 1B31A	0,4
12	U1-AT	18
13	UNIT BUS 1A	10
14	UNIT BUS 1B	10
15	MTR-10KV-1A	10
16	MTR-10KV-1B	10

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton 1 dan 2.

Sistem kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton 1 dan 2 dimodelkan dalam suatu software simulasi. Pemodelan ini berisi data terbaru. Langkah awal dari pemodelan ini adalah dengan membuat *single line diagram* dari data – data yang ada pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton 1 dan 2. Data yang dimasukkan meliputi data generator, *busbar*, kabel, relay eksisting, CB, motor, *lump load*, dan sistem pentanahan.

Setelah dilakukan pemodelan sistem kelistrikan, perlu dilakukan analisis aliran daya (*load flow analysis*) untuk mengetahui kondisi sistem kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton 1 dan 2. Setelah itu, dilakukan analisis hubung singkat dan analisis koordinasi proteksi sehingga bisa mengetahui apakah *setting* koordinasi peralatan pengamannya sudah tepat atau belum.

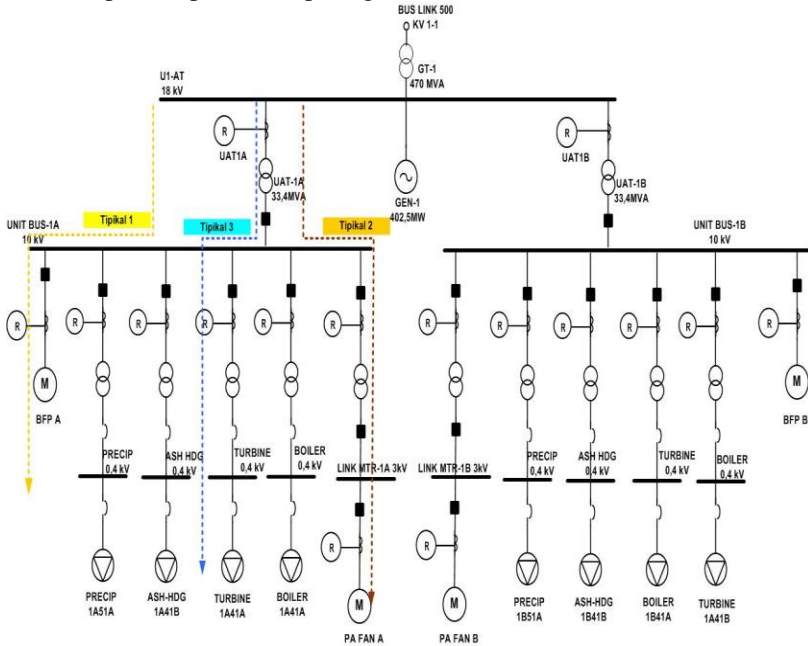
4.2 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton 1 dan 2

Pemodelan tipikal dalam sistem koordinasi proteksi bertujuan untuk mempermudah dalam melakukan *setting* proteksi. Dalam melakukan *setting* proteksi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton 1 dan 2, dilakukan pembagian dalam beberapa tipikal-tipikal. Tipikal tersebut nantinya akan menjadi acuan untuk *setting* proteksi antara lain:

- Tipikal 1: Koordinasi proteksi dari beban motor BFP A Untuk BFP A peralatan proteksi yang dikoordinasikan adalah BFP A OCR dan UAT1A
- Tipikal 2 : Koordinasi proteksi dari beban motor PA FAN A. Untuk PA FAN A peralatan proteksi yang dikoordinasikan adalah relay PA FAN A OCR, AT-1A OCR, Relay 2, dan UAT1A.
- Tipikal 3 : Koordinasi proteksi dari beban lump TURBINE-1A31A hingga bus U1-AT. Peralatan proteksi dikoordinasikan adalah LVCB ACB-TURBINE-1A31A,

LVCB ACB-1A31A, TURBINE 1A31A OCR, dan relay UAT1A.

Seluruh tipikal dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Single Line Diagram

4.3 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Setelah melakukan analisis *load flow*, maka langkah selanjutnya adalah analisis hubung singkat (*short circuit*) menggunakan *software*. Analisis ini digunakan untuk menentukan *setting* rele arus lebih. Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan 2 parameter, yaitu hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa pada saat 30 cycle. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa. Pada analisis ini dilakukan pada *bus-bus* tipikal yang dipilih.

4.3.1 Hubung Singkat Minimum 30 cycle

Arus hubung singkat minimum yang digunakan adalah arus hubung singkat dua fasa saat 30 cycle. Hubung singkat minimum ini digunakan sebagai batasan *setting* relay arus lebih waktu instan sehingga ketika terjadi arus hubung singkat minimum, relay arus lebih dapat langsung bekerja secara instan sesuai dengan *time delay* yang ditentukan untuk mengamankan gangguan. Hasil simulasi arus hubung singkat minimum saat 30 cycle dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hubung singkat minimum 30 cycle

No	Bus	Tegangan (kV)	Isc Min 30 Cycle (kA)
1	UNIT BUS – 1A	10	27,26
2	UNIT BUS – 1B	10	27,26
3	PRECIP – 1A51A	0,4	40,88
4	ASH HDG – 1A41A	0,4	38,35
5	BOILER – 1A41A	0,4	40,88
6	TURBINE – 1A31A	0,4	40,88
7	PRECIP – 1B51A	0,4	40,88
8	ASH HDG – 1B41B	0,4	38,35
9	BOILER – 1B41A	0,4	40,88
10	TURBINE – 1B31A	0,4	40,88

4.3.2 Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum adalah arus gangguan ketika terjadi hubung singkat 3 fasa. Arus ini digunakan karena rele arus lebih bekerja pada 3-5 cycle. Arus ini digunakan sebagai salah satu parameter dalam penentuan nilai *pick up* kurva instan pada kasus tertentu. Hasil simulasi nilai arus hubung singkat maksimum dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data hubung singkat maksimum

No	Bus	Tegangan (kV)	<i>Isc Maximum</i> (kA)
1	UNIT BUS – 1A	10	33,31
2	UNIT BUS – 1B	10	33,38
3	PRECIP – 1A51A	0,4	47,93
4	ASH HDG – 1A41A	0,4	44,92
5	BOILER – 1A41A	0,4	47,93
6	TURBINE – 1A31A	0,4	47,93
7	PRECIP – 1B51A	0,4	48,05
8	ASH HDG – 1B41B	0,4	45,03
9	BOILER – 1B41A	0,4	48,05
10	TURBINE – 1B31A	0,4	48,05

4.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi rele arus lebih gangguan fasa adalah pemilihan pada peralatan pengaman yang bertujuan hanya untuk mengisolasi sistem yang terjadi gangguan arus lebih fasa saja. Gangguannya dapat berupa *over load* dan *short circuit*. Sehingga perancangan koordinasi proteksi yang baik dan benar akan menjamin keberlangsungan pada proses industri.

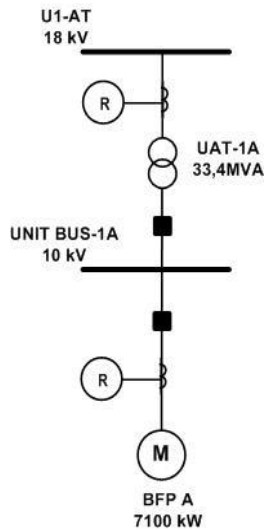
Pada sistem koordinasi ini dilakukan pengaturan *setting* arus dan waktu pada rele arus lebih (50/51). Dari hasil koordinasi tidak diharapkan adanya beberapa peralatan pengaman yang bekerja bersamaan. Pada perhitungan *setting* rele arus lebih ini akan dihitung nilai *low set*, *high set*, dan *time dial*.

Setelah mendapatkan perhitungan pada parameter-parameter yang telah ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah plot *Time current curve* pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada *software*

sehingga bisa dilihat *setting* koordinasi yang benar. Koordinasi rele ini harus memperhitungkan rele yang berada di atasnya atau dibawahnya. Rele pengaman harus memperhatikan arus *starting* motor dan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo.

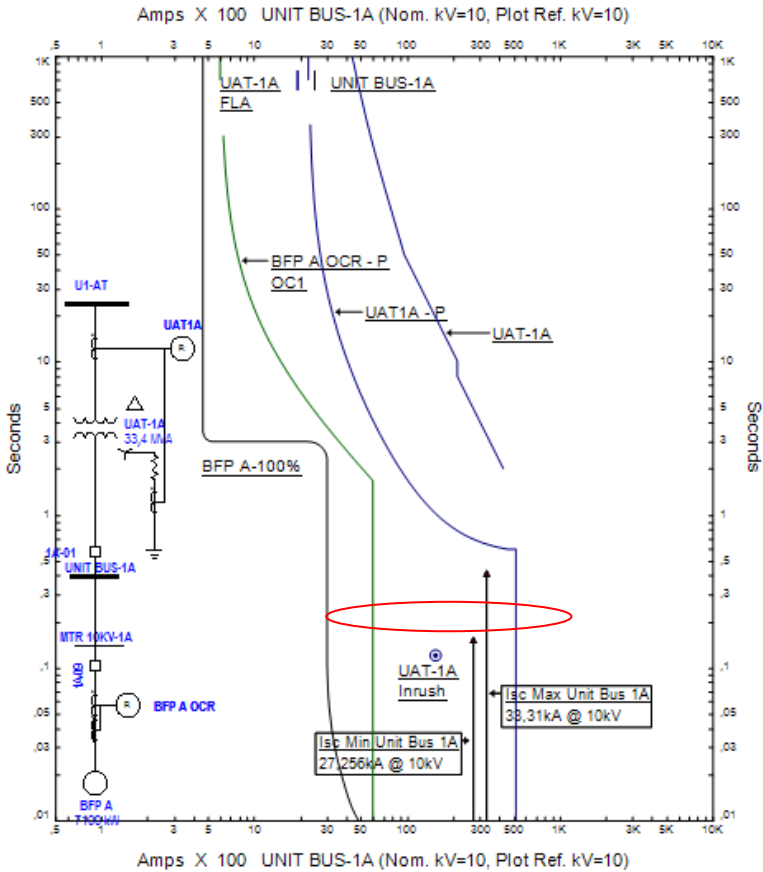
4.4.1 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Di dalam tipikal 1 ini dilakukan koordinasi arus lebih fasa dari motor BFP A menuju UAT1A. Jalur eksisting ini memiliki 2 rele antara lain rele BFP A OCR dan UAT1A. Gambar *single line diagram* tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Single Line Diagram* Tipikal 1

Sebelum melakukan koordinasi pada tipikal 1, dilakukan analisa terhadap kondisi eksisting *time-current curve* seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Time-current curve existing tipikal 1.

Dari hasil plot kurva pengaman eksisting tipikal 1 pada **gambar 4.3** dapat kita lihat ada beberapa koordinasi yang kurang baik, sehingga diperlukan resetting ulang untuk memperbaiki koordinasi rele rele tersebut. Berikut keterangannya :

1. Rele BFP A OCR dan UAT1A belum mengaktifkan *time delay* sehingga apabila terjadi gangguan hubung singkat mengakibatkan *trip* tanpa ada *delay* waktu

Untuk melakukan resetting pada tipikal ini, mula mula dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

Relay BFP A 10 kV to U1-AT

Relay BFWP A

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SR12
 FLA motor BFP A : 463,7 A
Curve Type : IEC-Long Time Inverse
CT Ratio : 600 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA < Iset < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 463,7 < Iset < 1,4 \times 463,7$$

$$486,885 < Iset < 649,18$$

$$\frac{486,885}{600/1} < Tap < \frac{649,18}{600/1}$$

$$0,811475 < Tap < 1,082$$

Memiliki tap dengan range : 0,05 – 2,5 x CT Sec, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 0,95

Iset = 570 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,1 s

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

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{I}{IEB} \right)^\alpha - 1 \right]}{120}$$

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{I_{sc \max}}{\sqrt{tap \times CT \ primary}} \right)^\alpha - 1 \right]}{120}$$

$$T = \frac{0,1 \times 1 \times \left[\left(\frac{34790}{0,95 \times 600} \right)^\alpha - 1 \right]}{120}$$

$$T = 0,05$$

Dipilih Time Dial = 0,125

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Motor BFP A} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus.}$$

$$1,6 \times 463,7 < I_{\gg} < 0,8 \times 27256$$

$$741,92 < I_{\gg} < 21804,8$$

$$\frac{741,92}{600/1} < \text{Tap} < \frac{21804,8}{600/1}$$

$$1,23651 < \text{Tap} < 36,341$$

Memiliki tap dengan range : 0,05 – 50 x CT Sec, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 7

Iset = 4200 A

Time delay = 0,1 s

Relay UAT-1A

Manufacturer : GE MULTILIN

Model : T60

FLA UAT-1A Primer : 1071 A

Curve Type : IEEE-Very Inverse

CT Ratio : 1200 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA UAT-1A Primer} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA UAT-1A Primer}$$

$$1,05 \times 1071 < \text{Iset} < 1,4 \times 1071$$

$$1124,55 < \text{Iset} < 1499,4$$

$$\frac{1124,55}{1200} < \text{Tap} < \frac{1499,4}{1200}$$

$$0,937125 < \text{Tap} < 1,2495$$

Memiliki tap dengan range : 0,01 – 30 x CT Sec, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 1,05

Iset = 1260 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,3s

$$t = \frac{K \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{\text{IEB}} \right)^\alpha - 1 \right]} + B$$

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{1}{IEB} \right)^2 - 1 \right]}{28,2} + B$$

$$T = \frac{0,3 \times 1 \times \left[\left(\frac{33310}{1,05 \times 1200} \right)^2 - 1 \right]}{28,2} + 0,1217$$

$$T = 0,3691$$

Dipilih *Time Dial* = 1,2

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA UAT-1A Primer} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus.}$$

$$1,6 \times 1071 < I_{\gg} < 0,8 \times 57005$$

$$1713,6 < I_{\gg} < 45604$$

$$\frac{1713,6}{1200} < \text{Tap} < \frac{45604}{1200}$$

$$1,428 < \text{Tap} < 38,0033$$

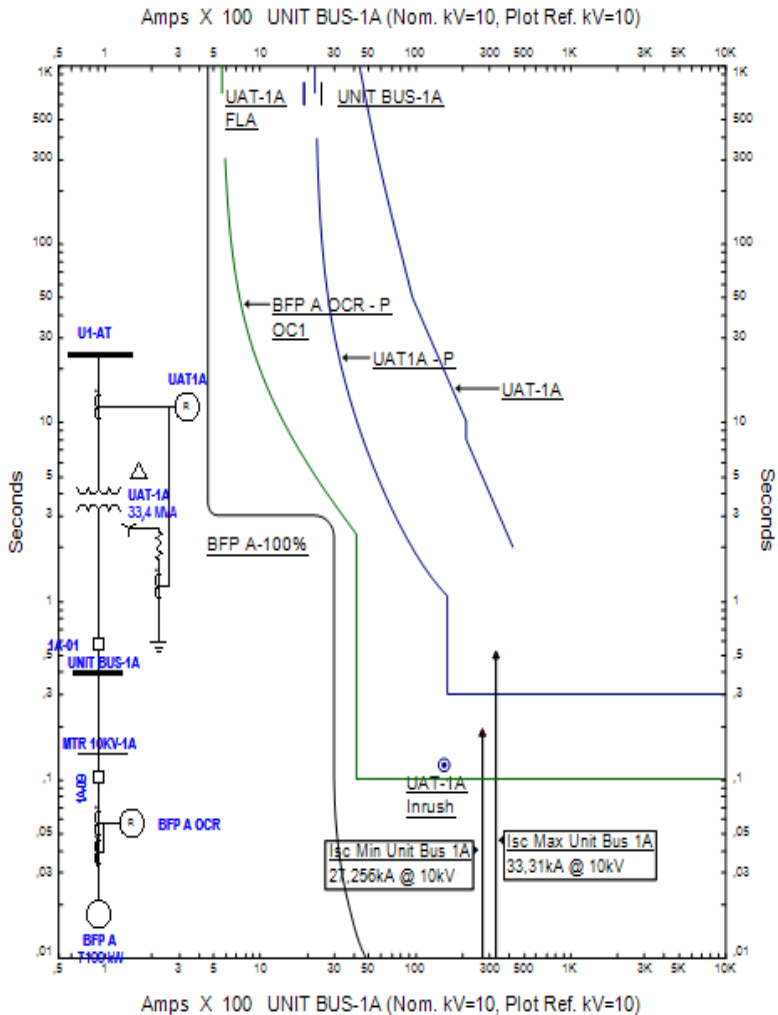
Memiliki tap dengan range : 0,01 – 30 x CT Sec, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 7,5

Iset = 9000 A

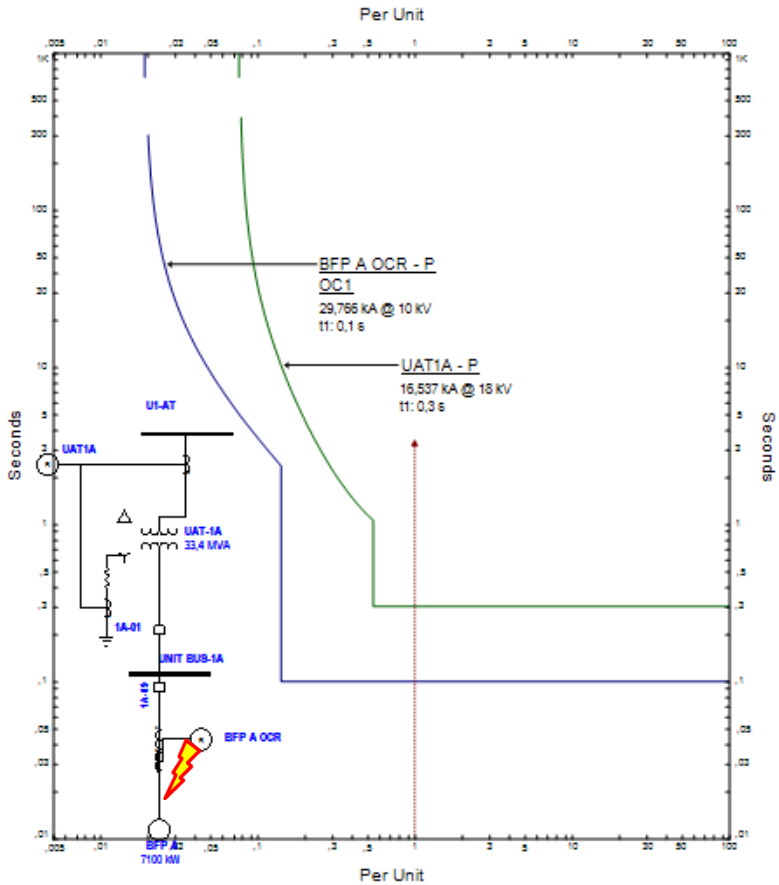
Time delay = 0,3 s

Setelah dilakukan perhitungan manual maka dilakukan pembuatan plot kurva koordinasi pada tipikal 1. Pada gambar 4.4 ditunjukkan kurva plot kurva pengaman pada tipikal 1 setelah dilakukan resetting.



Gambar 4.4 Time-current curve resetting tipikal 1.

Selanjutnya disimulasikan dengan member gangguan sebagai perbandingan antara existing dan resetting. Gambar TCC pada kondisi resetting ketika terjadi gangguan dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 Time-current curve resetting tipikal 1 ketika gangguan pada belitan motor BFP A.

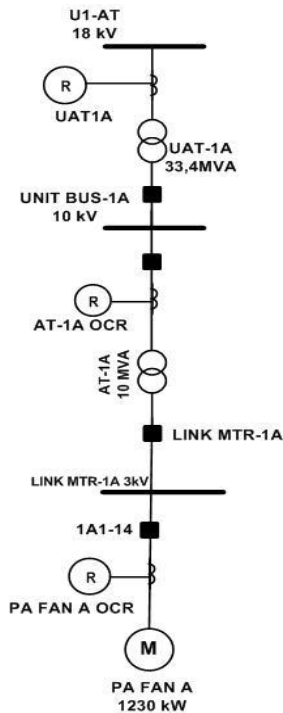
Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.4 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele BWFP A OCR berfungsi sebagai pelindung motor BFP A terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat.
- Rele UAT1A berfungsi melindungi trafo UAT-1A terhadap arus lebih beban penuh dan hubung singkat. Apabila terjadi arus hubung

singkat maksimum pada bus UNIT BUS 1 A maka relay ini akan bekerja terlebih dahulu.

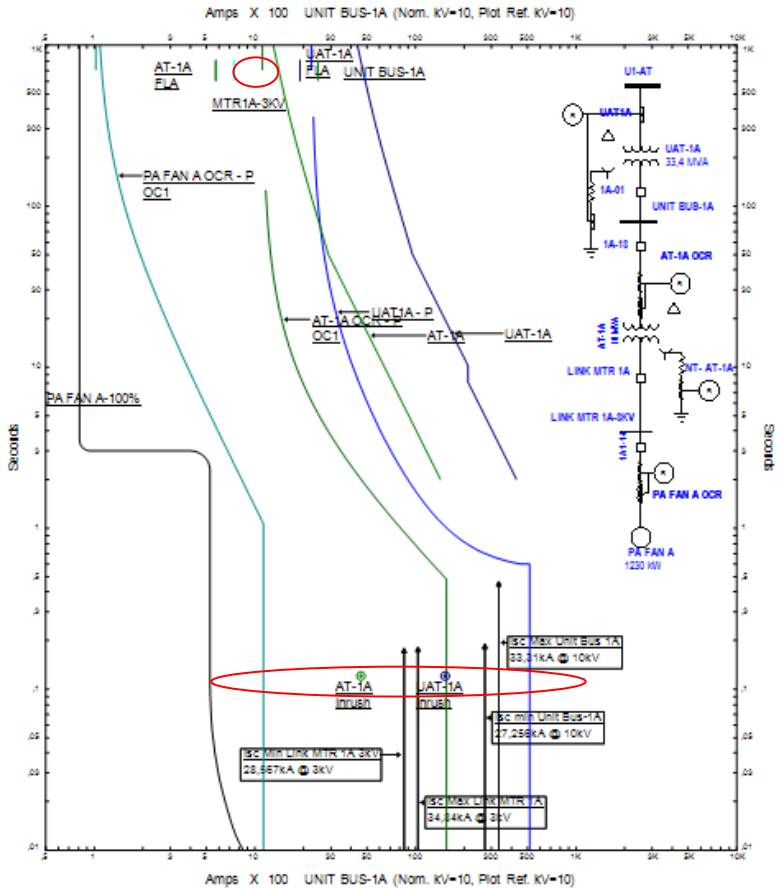
4.4.2 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Di dalam Tipikal 2 ini dilakukan koordinasi arus lebih fasadari motor PA FAN A menuju UAT1A. Jalur ini memiliki 3 rele antara lain rele PA FAN A OCR, AT-1A OCR dan UAT1A. Gambar *single line diagram* Tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Single Line Diagram* Tipikal 2

Sebelum melakukan koordinasi pada Tipikal 2, dilakukan analisa terhadap kondisi eksisting *time-current curve* seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Time-current curve existing Tipikal 2.

Dari hasil plot kurva pengaman eksisting tipikal 2 pada **gambar 4.7** dapat kita lihat ada beberapa koordinasi yang kurang baik, sehingga diperlukan resetting ulang untuk memperbaiki koordinasi rele rele tersebut. Berikut keterangannya :

1. *Pick-up overcurrent* Rele AT-1A OCR tidak sesuai standar 1,05 FLA – 1,4 FLA.

2. Rele PA FAN A OCR, AT-1A OCR dan UAT1A tidak mengaktifkan *time delay* sehingga apabila terjadi gangguan hubung singkat mengakibatkan *trip* tanpa ada *delay* waktu.

Untuk melakukan resetting pada tipikal ini, mula mula dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

Relay PA FAN A OCR

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SR12
FLA motor PA FAN A	: 272,5 A
<i>Curve Type</i>	: IEC-Extremely Inverse
<i>CT Ratio</i>	: 400 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA PA FAN A} < I_{set} < 1,4 \times \text{PA FAN A}$$

$$1,05 \times 272,5 < I_{set} < 1,4 \times 272,5$$

$$286,125 < I_{set} < 381,5$$

$$\frac{286,125}{400/1} < \text{Tap} < \frac{381,5}{400/1}$$

$$0,7153125 < \text{Tap} < 0,95375$$

(Memiliki tap dengan range: 0,05 – 2,5 x CT Sec, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 0,9

Iset = 360 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,01 s

$$t = \frac{K \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{1}{IEB} \right)^\alpha - 1 \right]}$$

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{1}{IEB} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{I_{sc \max}}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = \frac{0,01 \times 1 \times \left[\left(\frac{34840}{0,9 \times 400} \right)^2 - 1 \right]}{80}$$

$$T = 1,17$$

Dipilih Time Dial = 1,6

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA PA FAN A} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min.}$$

$$1,6 \times 272,5 < I_{\gg} < 0,8 \times 28567$$

$$436 < I_{\gg} < 22853,6$$

$$\frac{436}{400/1} < \text{Tap} < \frac{22853,6}{400/1}$$

$$1,09 < \text{Tap} < 57,134$$

Memiliki tap dengan range: 0,05 – 50 x CT Sec

Dipilih tap = 7

Iset = 2800 A

Time delay = 0,1 s

Relay 2

Manufacturer : Siemens

Model : 7SR12

FLA UAT-1A Primer : 1332,1 A

Curve Type : IEC-Very Inverse

CT Ratio : 2500 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Sekunder Trafo AT-1A} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA Sekunder Trafo AT-1A}$$

$$1,05 \times 1925 < \text{Iset} < 1,4 \times 1925$$

$$2021,25 < \text{Iset} < 2695$$

$$\frac{2021,25}{2500} < \text{Tap} < \frac{2695}{2500}$$

$$0,8085 < \text{Tap} < 1,078$$

Memiliki tap dengan range : 0,01 – 2,5 x CT Sec, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 0,81

Iset = 2025 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,3s

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

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{1}{\sqrt{IEB}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{I_{sc \max}}{\text{Tap} \times CT \text{ primary}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$T = \frac{0,3 \times 1 \times \left[\left(\frac{34840}{0,81 \times 2500} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$T = 0,36$$

Dipilih *Time Dial* = 0,55

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \text{ Min Bus.}}$$

$$1,6 \times 1925 < I_{\gg} < 0,8 \times 27256$$

$$3080 < I_{\gg} < 21804,8$$

$$\frac{2131,36}{2500} < \text{Tap} < \frac{21804,8}{2500}$$

$$0,852544 < \text{Tap} < 8,7216$$

Memiliki tap dengan range : 0,01 – 50 x CT Sec, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 3

Iset = 7500 A

Time delay = 0,3 s

Relay AT-1A OCR

Manufacturer : SIEMENS

Model : 7SR12

FLA Primer Trafo AT-1A : 577,4 A

Curve Type : IEC-Very Inverse

CT Ratio : 750 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \text{ Primer AT} - 1A < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ Primer AT} - 1A$$

$$1,05 \times 577,4 < I_{set} < 1,4 \times 577,4$$

$$606,27 < I_{set} < 808,36$$

$$\frac{606,27}{750/1} < \text{Tap} < \frac{808,36}{750/1}$$

$$0,80836 < \text{Tap} < 1,0778133$$

(Memiliki tap dengan range: 0,05 – 2,5 x CT Sec, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 0,98

Iset = 735 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,1 s

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

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{I_{sc \max}}{\text{tap} \times CT \text{ primary}} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$T = \frac{0,1 \times 1 \times \left[\left(\frac{34840}{0,98 \times 750} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$T = 0,34$$

Dipilih Time Dial = 0,8

Instantaneous Pickup

$$I_{sc \max} \times \frac{kV \text{ Sekunder}}{kV \text{ Primer}} < I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc \min}$$

$$34840 \times \frac{3}{10} < I_{\gg} < 0,8 \times 27256$$

$$10452 < I_{\gg} < 21804,8$$

$$\frac{10452}{750/1} < \text{Tap} < \frac{27260}{750/1}$$

$$13,936 < \text{Tap} < 29,073$$

(Memiliki tap dengan range: 0,05 – 50 x CT Sec, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 15

Iset = 11250 A

Time delay = 0,1 s

Relay UAT-1A

Manufacturer : GE MULTILIN

Model : T60

FLA UAT-1A Primer : 1071 A

Curve Type : IEEE-Very Inverse

CT Ratio : 1200 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA UAT-1A Primer} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA UAT-1A Primer}$$

$$1,05 \times 1071 < \text{Iset} < 1,4 \times 1071$$

$$1124,55 < \text{Iset} < 1499,4$$

$$\frac{1124,55}{1200} < \text{Tap} < \frac{1499,4}{1200}$$

$$0,937125 < \text{Tap} < 1,2495$$

(Memiliki tap dengan range: 0,01 – 30 x CT Sec, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 1,05

Iset = 1260 A

Time Dial

Dipilih Time Dial = 1,2

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA UAT-1A Primer} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus.}$$

$$1,6 \times 1071 < I_{\gg} < 0,8 \times 57005$$

$$1713,6 < I_{\gg} < 45604$$

$$\frac{1713,6}{1200/5} < \text{Tap} < \frac{45604}{1200/5}$$

$$1,428 < \text{Tap} < 38,0033$$

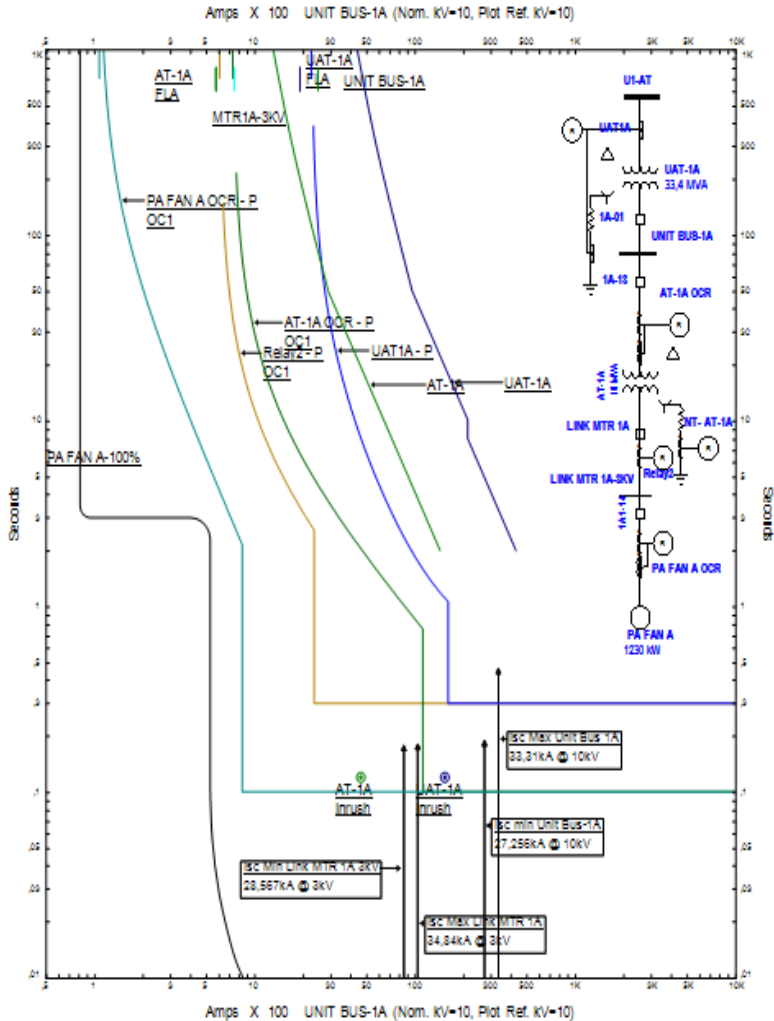
Memiliki tap dengan range : 0,01 – 30 x CT Sec, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 7,5

Iset = 9000 A

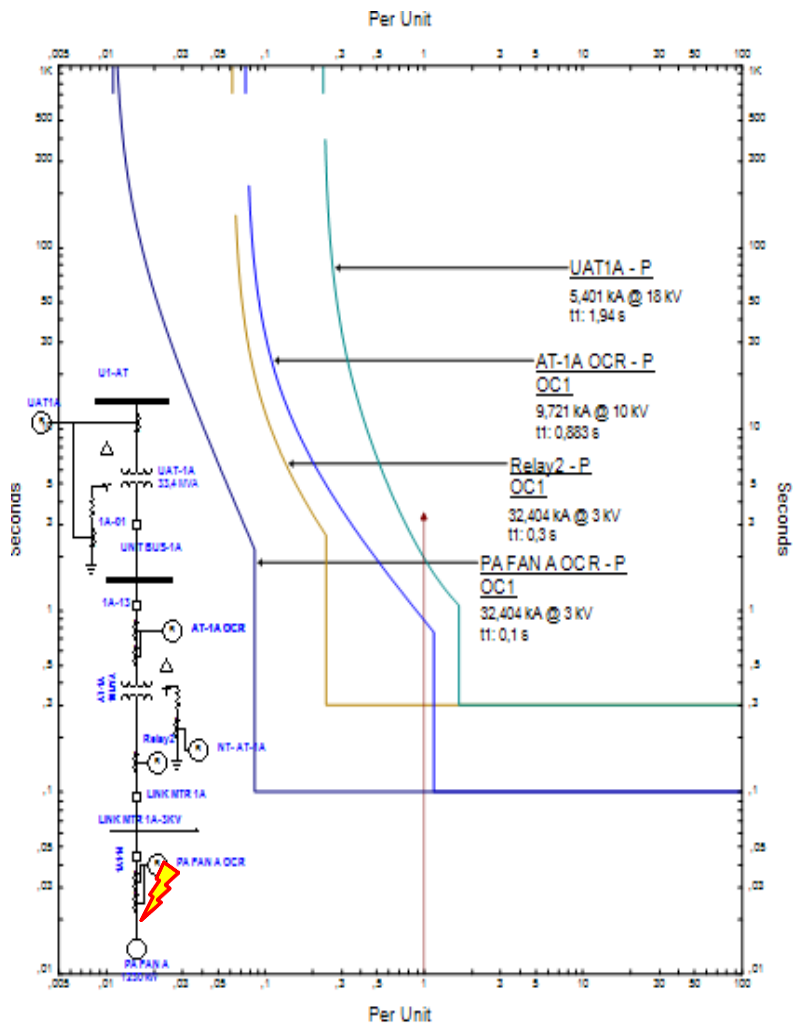
Time delay = 0,3 s

Setelah dilakukan perhitungan manual maka dilakukan pembuatan plot kurva koordinasi pada tipikal 2. Pada gambar 4.8 ditunjukkan kurva plot kurva pengaman pada tipikal 2 setelah dilakukan resetting.



Gambar 4.8 Time-current curve resetting tipikal 2.

Selanjutnya disimulasikan dengan member gangguan sebagai perbandingan antara existing dan resetting. Gambar TCC pada kondisi resetting ketika terjadi gangguan dapat dilihat pada gambar 4.9



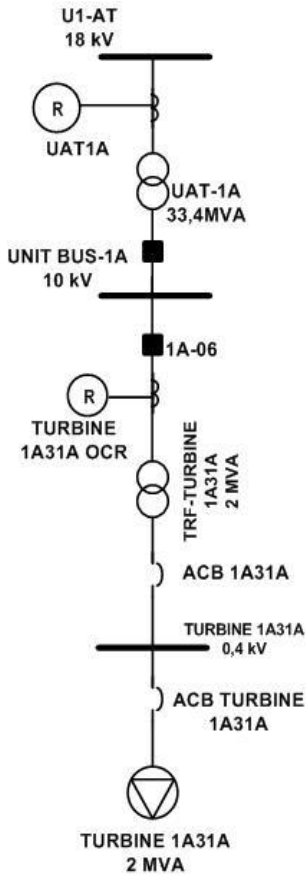
Gambar 4.9 Time-current curve resetting tipikal 2 ketika gangguan pada belitan motor PA FAN A.

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.8 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Rele PA FAN A OCR berfungsi sebagai pelindung motor PA FAN A terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat
- Relay 2 berfungsi sebagai pelindung trafo AT-1A pada sisi sekunder terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat yang terjadi pada *bus* LINK MTR 1A 3 kV. Selain itu relay ini berfungsi juga sebagai *backup* relay PA FAN A OCR apabila gagal bekerja. Apabila terjadi arus hubung singkat maksimum pada *bus* LINK MTR 1A 3 kV, maka relay ini bekerja terlebih dahulu.
- Rele AT-1A berfungsi sebagai pelindung trafo AT-1A pada sisi primer terhadap arus lebih beban penuh. Selain itu rele ini berfungsi juga sebagai pelindung *bus* Unit Bus 1A ketika terjadi arus lebih hubung singkat pada terminal trafo AT-1A sisi primer. Pada saat trafo AT-1A mengalami *inrush* maka rele ini tidak bekerja.
- Rele UAT1A berfungsi melindungi trafo UAT-1A terhadap arus lebih beban penuh dan hubung singkat. Apabila terjadi arus hubung singkat maksimum pada bus UNIT BUS 1 A maka relay ini akan bekerja terlebih dahulu.

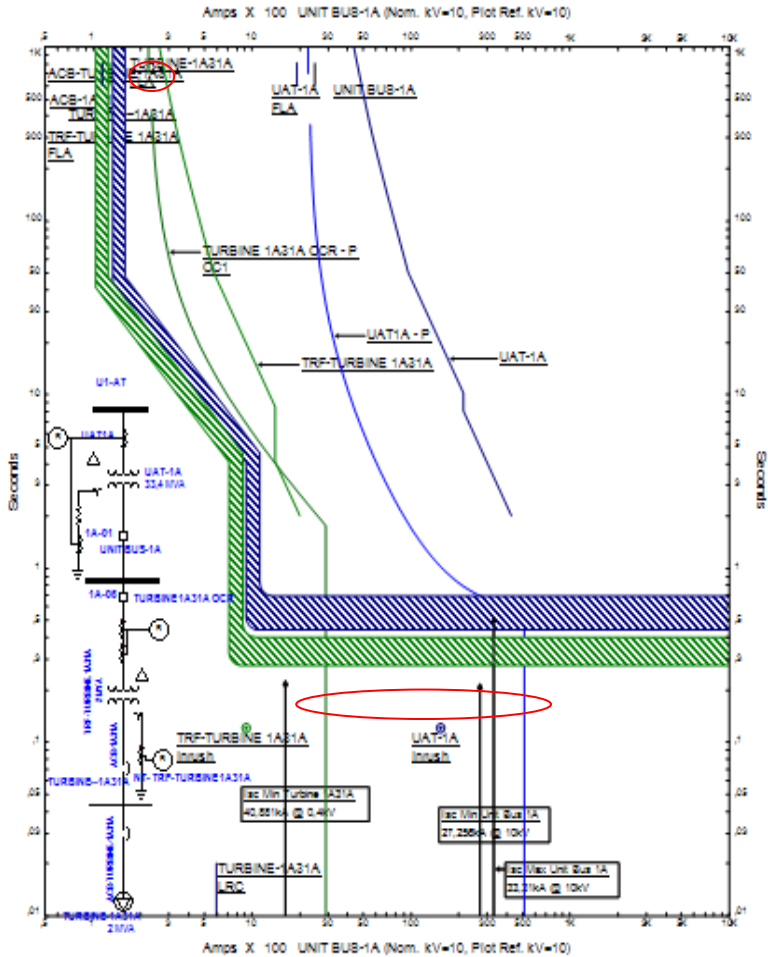
4.4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Di dalam Tipikal 3 ini dilakukan koordinasi arus lebih fasadari beban lump TURBINE 1A31A menuju UAT1A. Jalur eksisting ini memiliki 4 rele antara lain rele LVCB ACB TURBINE 1A31A, LVCB ACB 1A31A, Relay TURBINE 1A31A OCR dan Relay UAT1A. Gambar *single line diagram* Tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Single Line Diagram Tipikal 3

Sebelum melakukan koordinasi pada Tipikal 3, dilakukan analisa terhadap kondisi eksisting *time-current curve* seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Time-current curve existing Tipikal 3.

Dari hasil plot kurva pengaman eksisting tipikal 3 pada **gambar 4.11** dapat kita lihat ada beberapa koordinasi yang kurang baik, sehingga diperlukan resetting ulang untuk memperbaiki koordinasi rele rele tersebut. Berikut keterangannya :

1. *Pick-up overcurrent* Rele TURBINE 1A31A OCR tidak sesuai standar 1,05 FLA – 1,4 FLA.

2. Rele TURBINE 1A31A dan UAT1A tidak mengaktifkan *time delay* sehingga apabila terjadi gangguan hubung singkat mengakibatkan *trip* tanpa ada *delay* waktu.

Untuk melakukan resetting pada tipikal ini, mula mula dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

LVCB ACB TURBINE 1A31A

Manufacturer : SIEMENS
Model : 3 WNI-Release 7 2500
 FLA Precip 1B51A : 2887

Long Time Pick Up

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &< I_{set} < 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 2887 &< I_{set} < 1,4 \times 2887 \\
 3031,35 &< I_{set} < 4041,8 \\
 \frac{3031,35}{3200} &< Tap < \frac{4041,8}{3200} \\
 0,94729 &< Tap < 1,263
 \end{aligned}$$

Dipilih tap = 1

Iset = 3200 A

LT Band

Dipilih LT Band = 6

Short Time Pickup

$$\begin{aligned}
 1,6 \times FLA \text{ TURBINE 1A31A} &< I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min Bus} \\
 1,6 \times 2887 &< I_{\gg} < 0,8 \times 40881 \\
 4619,2 &< I_{\gg} < 32074,8 \\
 \frac{4619,2}{3200} &< Tap < \frac{32074,8}{3200} \\
 1,4435 &< Tap < 10,220
 \end{aligned}$$

Dipilih tap = 8

Iset = 20000 A

Time delay = 0,08 s

LVCB ACB 1B51A

Manufacturer : SIEMENS
Model : 3 WNI-Release 7 2500
FLA Trafo Sekunder TRF TURBINE 1A31A : 2887

Long Time Pick Up

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA} &< I_{set} < 1,4 \times \text{FLA} \\1,05 \times 2887 &< I_{set} < 1,4 \times 2887 \\3031,35 &< I_{set} < 4041,8 \\ \frac{3031,35}{3200} &< \text{Tap} < \frac{4041,8}{3200} \\0,94729 &< \text{Tap} < 1,263\end{aligned}$$

Dipilih tap = 1
Iset = 3200 A

LT Band

Dipilih LT Band = 10

Short Time Pickup

$1,6 \times \text{FLA Sekunder TRF TURBINE 1A31A} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus TURBINE 1A31A}$

$$\begin{aligned}1,6 \times 2887 &< I_{\gg} < 0,8 \times 40881 \\4619,2 &< I_{\gg} < 32074,8 \\ \frac{4619,2}{3200} &< \text{Tap} < \frac{32074,8}{3200} \\1,4435 &< \text{Tap} < 10,220\end{aligned}$$

Dipilih tap = 8
Iset = 25600 A
Time delay = 0,5 s

Relay TURBINE 1A31A OCR

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SR12
FLA Trafo Primer TRF TURBINE 1A31A : 115,5 A
Curve Type : IEC-Long Time Inverse
CT Ratio : 150 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA Primer TRF TURBINE 1A31A} &< I_{set} \\ &< 1,4 \times \text{Primer TRF TURBINE 1A31A} \\ 1,05 \times 115,5 &< I_{set} < 1,4 \times 115,5 \\ 121,75 &< I_{set} < 161,7 \\ \frac{121,75}{150/1} &< \text{Tap} < \frac{161,7}{150/1} \\ 0,8085 &< \text{Tap} < 1,078 \end{aligned}$$

Dipilih tap = 1

Iset = 150 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t_d) = 0,1 s

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

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{I}{I_{EB}} \right)^1 - 1 \right]}{120}$$

$$T = \frac{t_d \times 1 \times \left[\left(\frac{38610}{\text{tap} \times CT_{primary}} \right)^1 - 1 \right]}{120}$$

$$T = \frac{0,1 \times 1 \times \left[\left(\frac{38610}{1 \times 150} \right)^1 - 1 \right]}{120}$$

$$T = 0,12678$$

Dipilih Time Dial = 0,175

Instantaneous Pickup

Isc max x kV sekunder/ kv primer $< I_{\gg} < 0,8 \times I_{sc} \text{ Min Bus.}$

$$38610 \times 0,4/10 < I_{\gg} < 0,8 \times 27256$$

$$1544,4 < I_{\gg} < 21804,8$$

$$\frac{1544,4}{600/1} < \text{Tap} < \frac{35760}{600/1}$$

$$2,574 < \text{Tap} < 36,34$$

Dipilih tap = 20
 Iset = 3000 A
 Time delay = 0,1 s

Relay UAT-1A

Manufacturer : GE MULTILIN
Model : T60
 FLA UAT-1A Primer : 1071 A
Curve Type : IEEE-Very Inverse
CT Ratio : 1200 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA UAT-1A Primer} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA UAT-1A Primer}$$

$$1,05 \times 1071 < \text{Iset} < 1,4 \times 1071$$

$$1124,55 < \text{Iset} < 1499,4$$

$$\frac{1124,55}{1200} < \text{Tap} < \frac{1499,4}{1200}$$

$$0,937125 < \text{Tap} < 1,2495$$

(Memiliki tap dengan range: 0,01 – 30 x CT Sec, dengan steps 0,01 A)

Dipilih tap = 1,05
 Iset = 1260 A

Time Dial

Dipilih Time Dial = 1,2

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA UAT-1A Primer} < I_{\gg} < 0,8 \times \text{Isc Min Bus. UAT-1A}$$

$$1,6 \times 1071 < I_{\gg} < 0,8 \times 57005$$

$$1713,6 < I_{\gg} < 45604$$

$$\frac{1713,6}{1200} < \text{Tap} < \frac{45604}{1200}$$

$$1,428 < \text{Tap} < 38,0033$$

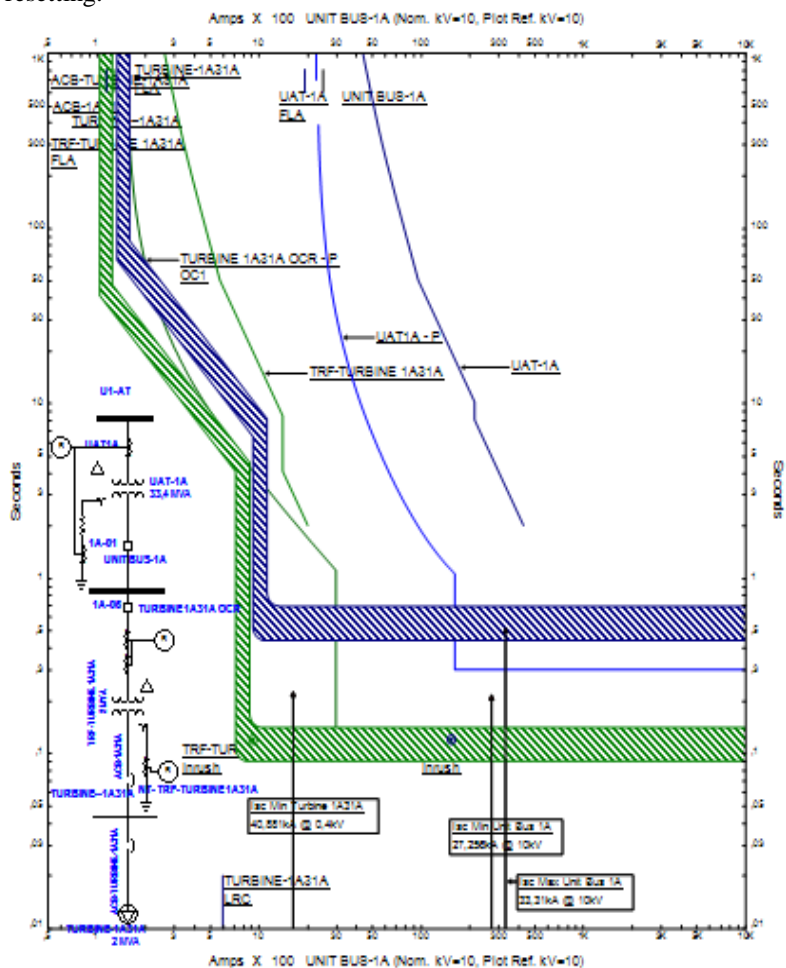
Memiliki tap dengan range : 0,01 – 30 x CT Sec, dengan step 0,01 In)

Dipilih tap = 7,5
 Iset = 9000 A

Time delay = 0,3 s

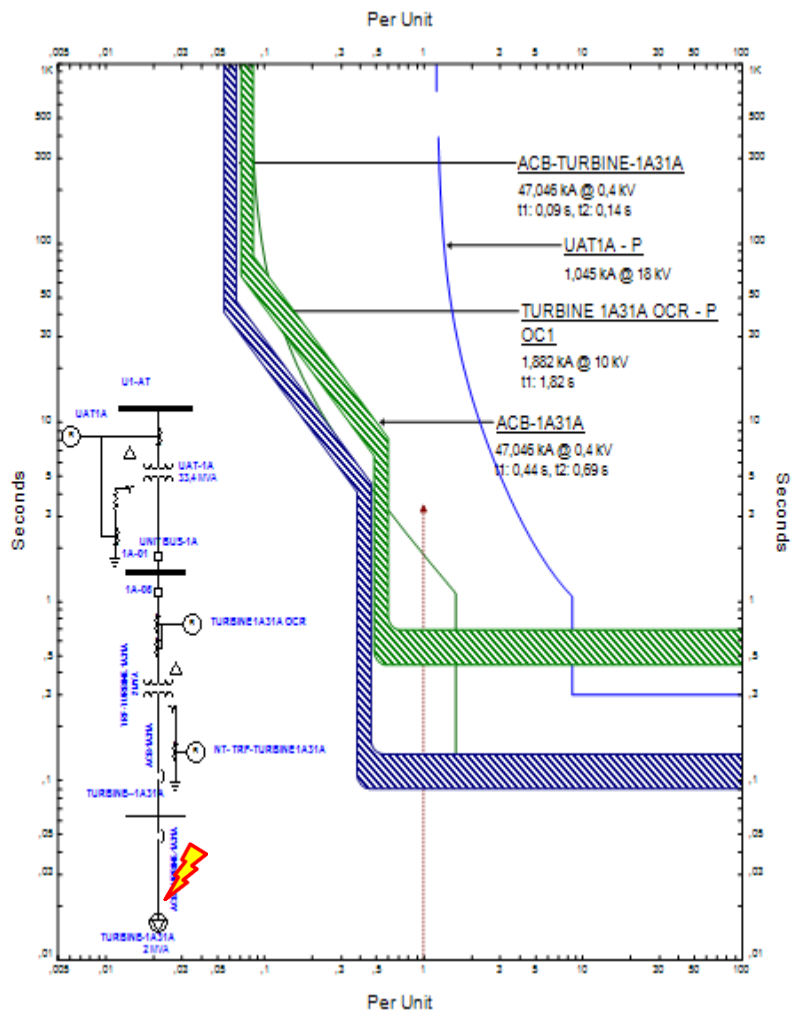
Setelah dilakukan perhitungan manual maka dilakukan pembuatan plot kurva koordinasi pada tipikal 3. Pada gambar 4.12

ditunjukkan kurva plot kurva pengaman pada tipikal 3 setelah dilakukan resetting.



Gambar 4.12 Time-current curve resetting tipikal 3.

Selanjutnya disimulasikan dengan member gangguan sebagai perbandingan antara existing dan resetting. Gambar TCC pada kondisi resetting ketika terjadi gangguan dapat dilihat pada gambar 4.13



Gambar 4.13 Time-current curve resetting tipikal 3 ketika gangguan pada belitan beban Turbine 1A31A.

Sesuai hasil *plot* pada Gambar 4.12 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- LVCB ACB TURBINE 1A31A berfungsi sebagai pelindung beban TURBINE 1A31 dari kondisi arus lebih beban penuh (*overload*). Selain itu LVCB ini berfungsi juga untuk mengamankan arus lebih hubung singkat yang terjadi.
- LVCB ACB-1A31A berfungsi sebagai pelindung trafo TRF TURBINE 1A31A pada sisi sekunder terhadap arus lebih beban penuh dan arus lebih hubung singkat yang terjadi pada bus TURBINE 1A31A. Selain itu LVCB ini berfungsi juga sebagai *backup* LVCB ACB TURBINE 1A31A apabila gagal bekerja. Apabila terjadi arus hubung singkat maksimum pada bus TURBINE 1A31A, maka LVCB ini bekerja terlebih dahulu.
- Rele TURBINE 1A31A OCR berfungsi sebagai pelindung trafo TRF TURBINE 1A31A pada sisi primer terhadap arus lebih beban penuh. Selain itu rele ini berfungsi juga sebagai pelindung bus UNIT BUS-1A ketika terjadi arus lebih hubung singkat pada terminal trafo TRF TURBINE 1A31A sisi primer dan sebagai *backup* LVCB ACB-1A31A apabila gagal bekerja. Pada saat trafo TRF TURBINE 1A31A mengalami *inrush* maka rele ini tidak bekerja.
- Rele UAT1A berfungsi melindungi trafo UAT-1A terhadap arus lebih beban penuh dan hubung singkat. Apabila terjadi arus hubung singkat maksimum pada bus UNIT BUS 1 A maka relay ini akan bekerja terlebih dahulu.

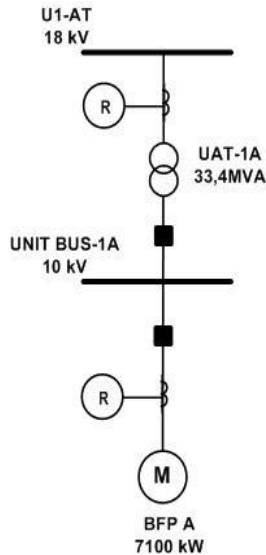
4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Pada sistem kelistrikan yang baik, rele arus lebih gangguan ke tanah juga harus dikoordinasikan untuk mengatasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Nilai arus hubung singkat tersebut sangat dipengaruhi oleh instalasi *neutral grounding resistor* (NGR) pada peralatan karena nilai arus gangguan maksimal bernilai sama dengan nilai NGR.

Dalam koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah dapat dilakukan dengan cara pemisahan pada tiap level tegangan. Hal tersebut terjadi karena saat gangguan pada satu level tegangan, pengaman pada level tegangan yang berbeda tidak akan merasakan gangguan tersebut.

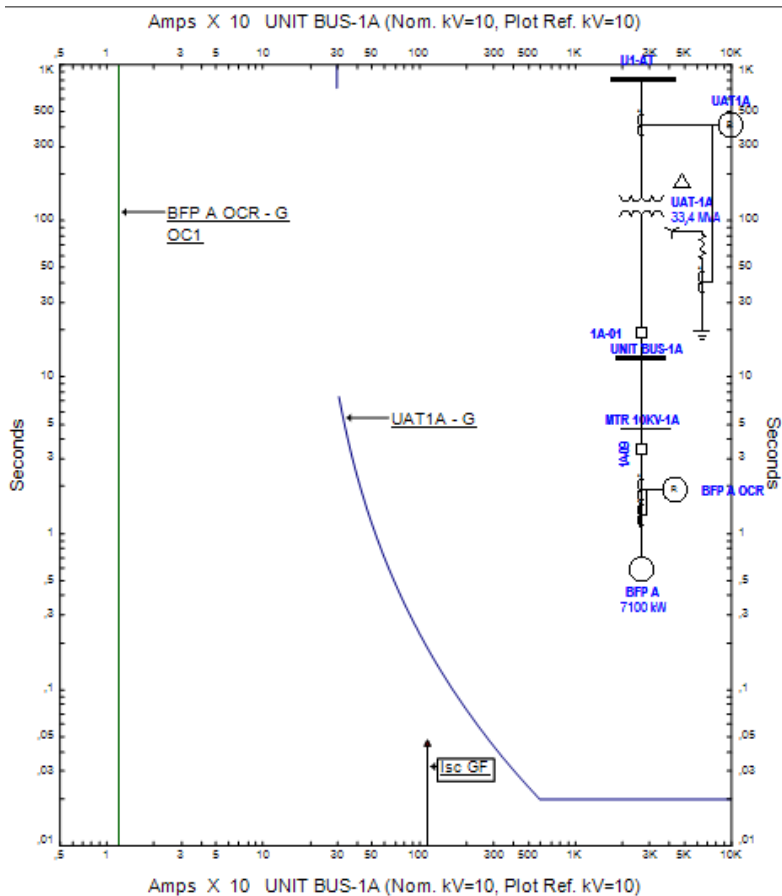
4.5.1 Setting koordinasi rele arus lebih gangguan Ke Tanah tipikal 1

Di dalam tipikal ini dilakukan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa ke tanah dari beban BFP A menuju bus UAT1A. Terdapat 2 rele dalam tipikal ini yaitu rele BFWP A OCR dan UAT1A. Gambar untuk tipikal 1 ini bisa dilihat pada **gambar 4.14**.



Gambar 4.14 *Single line diagram* tipikal 1

Dari data eksisting dari peralatan pengaman dibuat plot kurva koordinasi pengaman pada software simulasi. Gambar untuk plot kurva pengaman ditunjukkan pada **gambar 4.15** sebagai berikut :



Gambar 4.15 Time current curve eksisting tipikal 1

Dari hasil plot kurva pengaman eksisting tipikal 1 pada **gambar 4.15** dapat kita lihat ada beberapa koordinasi yang kurang baik, sehingga diperlukan reseting ulang untuk memperbaiki koordinasi rele-rele tersebut. Berikut keterangannya:

1. Rele pengaman masih menggunakan kurva invers. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan reseting dan hanya menggunakan kurva waktu instan (*definite time*) saja

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

❖ **BFP A OCR**

Manufacturer : SIEMENS
Model : 7SR12
Curve Type : *Definite Time*
CT Ratio : 60 / 1

Instantaneous Pickup

$$5\text{-}10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$5\% \times 1141 \text{ A} \leq I_{set} \leq 50\% \times 1141 \text{ A}$$

$$57,05 \text{ A} \leq I_{set} \leq 571 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih } I_{set} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{60}{60} = 1$$

Time Delay

$$\text{Dipilih } time \text{ dial} = 0.1s$$

❖ **UAT1A**

Manufacturer : GE Multilin
Model : T60
Curve Type : *Definite Time*
CT Ratio : 600 / 5

Instantaneous Pickup

$$5\text{-}10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$5\% \times 1141 \text{ A} \leq I_{set} \leq 50\% \times 1141 \text{ A}$$

$$57,05 \text{ A} \leq I_{set} \leq 571 \text{ A}$$

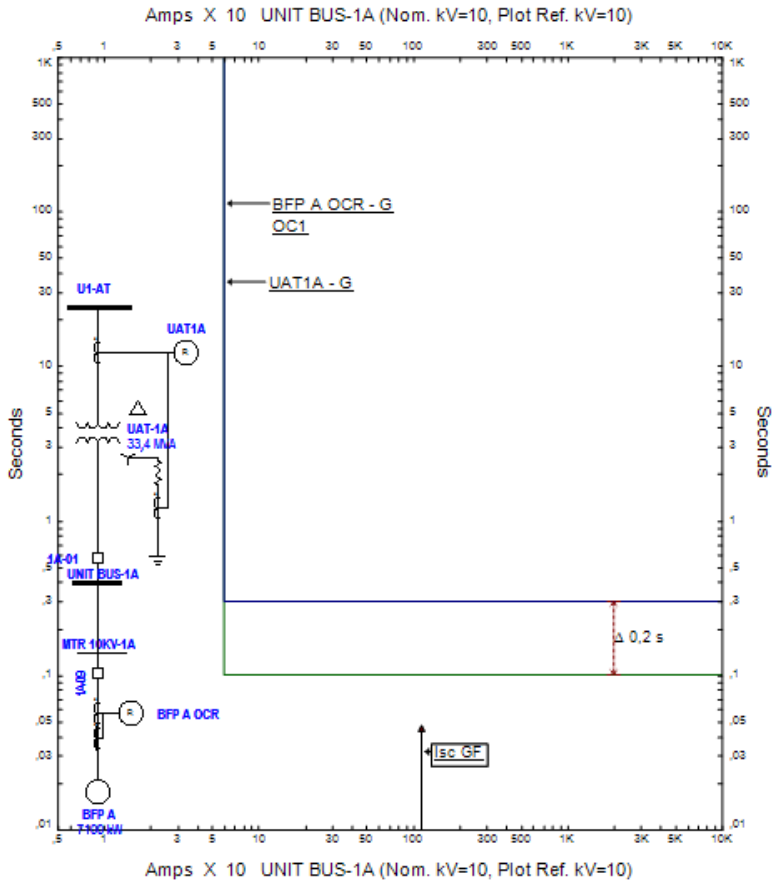
$$\text{Dipilih } I_{set} = 60$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{60}{600} = 0,1$$

Time Delay

$$\text{Dipilih } time \text{ dial} = 0.3s$$

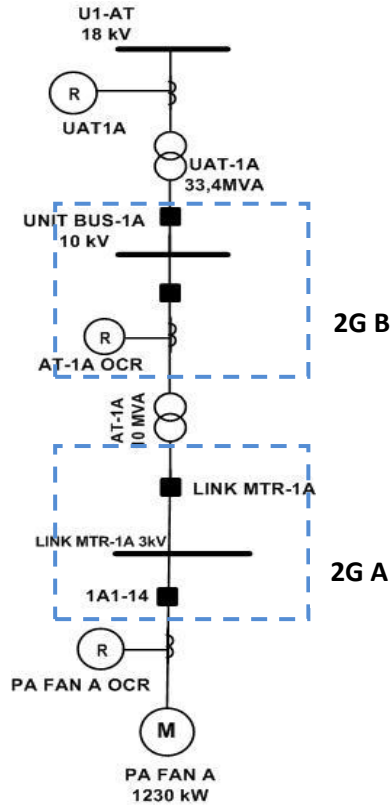
Dari Perhitungan diatas lalu dibuat plot kurva koordinasi pengaman pada software simulasi. Hasil plot koordinasi rele pengaman dapat dilihat pada **gambar 4.16** dibawah ini :



Gambar 4.16 Time current curve resetting tipikal 1

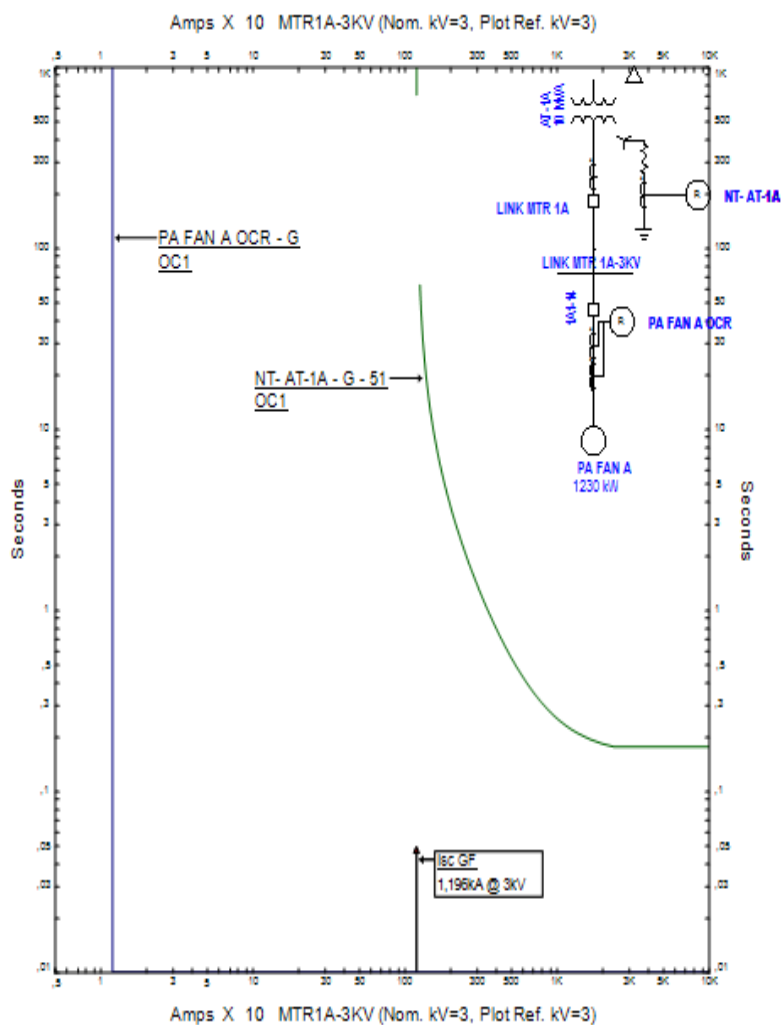
4.5.2 Setting koordinasi rele arus lebih gangguan Ke Tanah tipikal 2

Di dalam tipikal ini dilakukan koordinasi rele arus lebih gangguan fasa ke tanah dari beban menuju bus UAT1A. Terdapat 3 rele dalam tipikal ini yaitu rele PA FAN A OCR, AT-1A OCR, dan UAT1A. Gambar untuk tipikal 2 ini bisa dilihat pada **gambar 4.17**.

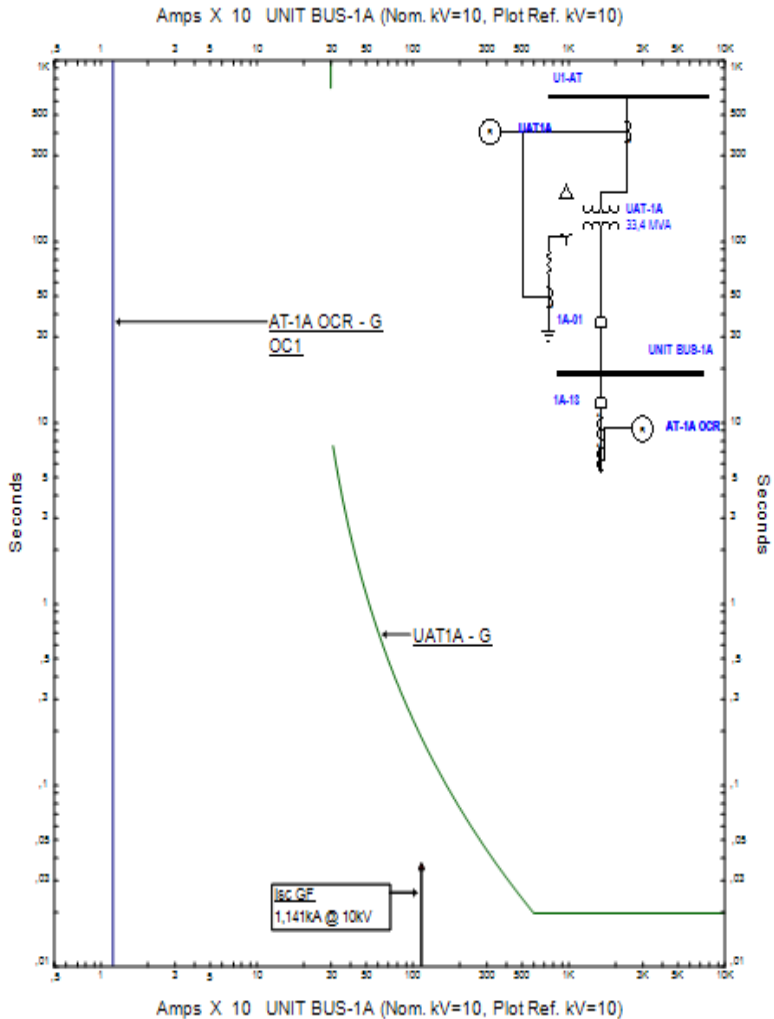


Gambar 4.17 Tipikal koordinasi 2 (a) pada tegangan 3 kV (b) pada tegangan 10 kV

Dari data eksisting dari peralatan pengaman dibuat plot kurva koordinasi pengaman pada software simulasi. Gambar untuk plot kurva pengaman untuk gangguan ketanah ditunjukkan pada **gambar 4.18** dan **4.19** sebagai berikut :



Gambar 4.18 Time current curve eksisting arus gangguan ketanah tegangan 3 kV



Gambar 4.19 Time current curve eksisting arus gangguan ke tanah tegangan 10 kV

Dari hasil plot kurva pengaman eksisting tipikal 1 pada **gambar 4.18** dan **4.19** dapat kita lihat ada beberapa koordinasi yang kurang baik,

sehingga diperlukan resetting ulang untuk memperbaiki koordinasi rele rele tersebut. Berikut keterangannya :

1. Rele pengaman gangguan fasa ke tanah masih menggunakan kurva invers. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan *resetting* dan hanya menggunakan kurva definite time saja

Dari analisis kurva *existing* dapat diketahui bahwa *setting* rele masih perlu disempurnakan agar bisa didapatkan koordinasi rele pengaman yang tepat. Perhitungan ulang *setting* rele adalah sebagai berikut :

PA FAN A OCR

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Model</i>	: 7SR12
<i>Curve Type</i>	: <i>Definite Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 60 / 1

Instantaneous Pickup

$$5\text{-}10\% \times I_{sc \text{ L-G}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc \text{ L-G}}$$

$$5\% \times 1198 \text{ A} \leq I_{set} \leq 50\% \times 1198 \text{ A}$$

$$59,9 \text{ A} \leq I_{set} \leq 599 \text{ A}$$

Dipilih $I_{set} = 60$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} = \frac{60}{60} = 1$$

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1s

NT AT-1A

<i>Manufacturer</i>	: SIEMENS
<i>Curve Type</i>	: <i>Definite Time</i>
<i>CT Ratio</i>	: 3000/5
Isc L-G	: 1200 A

Time Overcurrent Pickup

$$5\text{-}10\% \times I_{sc \text{ L-G}} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc \text{ L-G}}$$

$$5\% \times 1198 \text{ A} \leq I_{set} \leq 50\% \times 1198 \text{ A}$$

$$59,9 \text{ A} \leq I_{set} \leq 599 \text{ A}$$

Dipilih $I_{set} = 60$

$$\text{Tap} = \frac{60}{\text{CT primary}} = \frac{60}{3000} = 0,02$$

Time Dial

Dipilih *time delay* = 0.3s

AT-1A OCR

Manufacturer : SIEMENS
Curve Type : *Definite Time*
CT Ratio : 60/1
Isc L-G : 1141 A

Instantaneous Pickup

$$5\text{-}10\% \times \text{Isc L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$$

$$5\% \times 1141 \text{ A} \leq I_{set} \leq 50\% \times 1141 \text{ A}$$

$$57,15 \text{ A} \leq I_{set} \leq 5771,5 \text{ A}$$

Dipilih $I_{set} = 60$

$$\text{Tap} = \frac{60}{60} = \frac{60}{60} = 1$$

Time Delay

Dipilih *time delay* = 0.1s

UAT1A

Manufacturer : GE Multilin
Model : T60
Curve Type : *Definite Time*
CT Ratio : 600 / 5

Instantaneous Pickup

$$5\text{-}10\% \times \text{Isc L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times \text{Isc L-G}$$

$$5\% \times 1141 \text{ A} \leq I_{set} \leq 50\% \times 1141 \text{ A}$$

$$57,05 \text{ A} \leq I_{set} \leq 571 \text{ A}$$

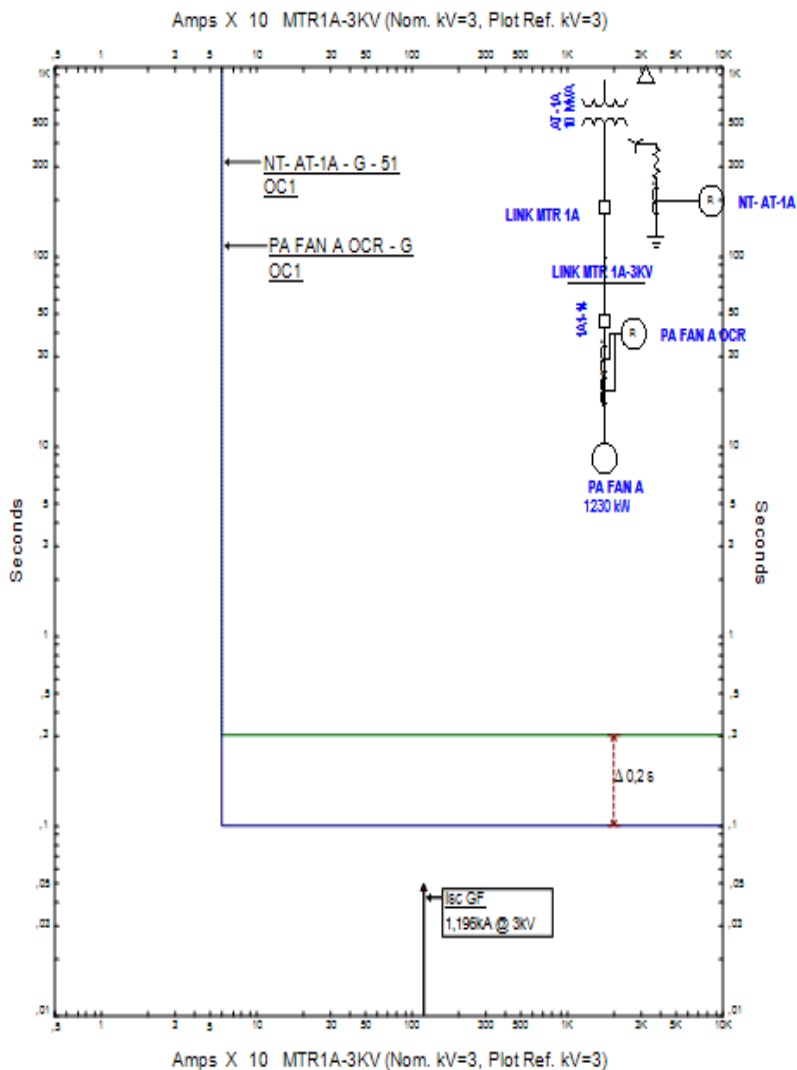
Dipilih $I_{set} = 60$

$$\text{Tap} = \frac{I_{set}}{\text{CT primary}} = \frac{60}{600} = 0,1$$

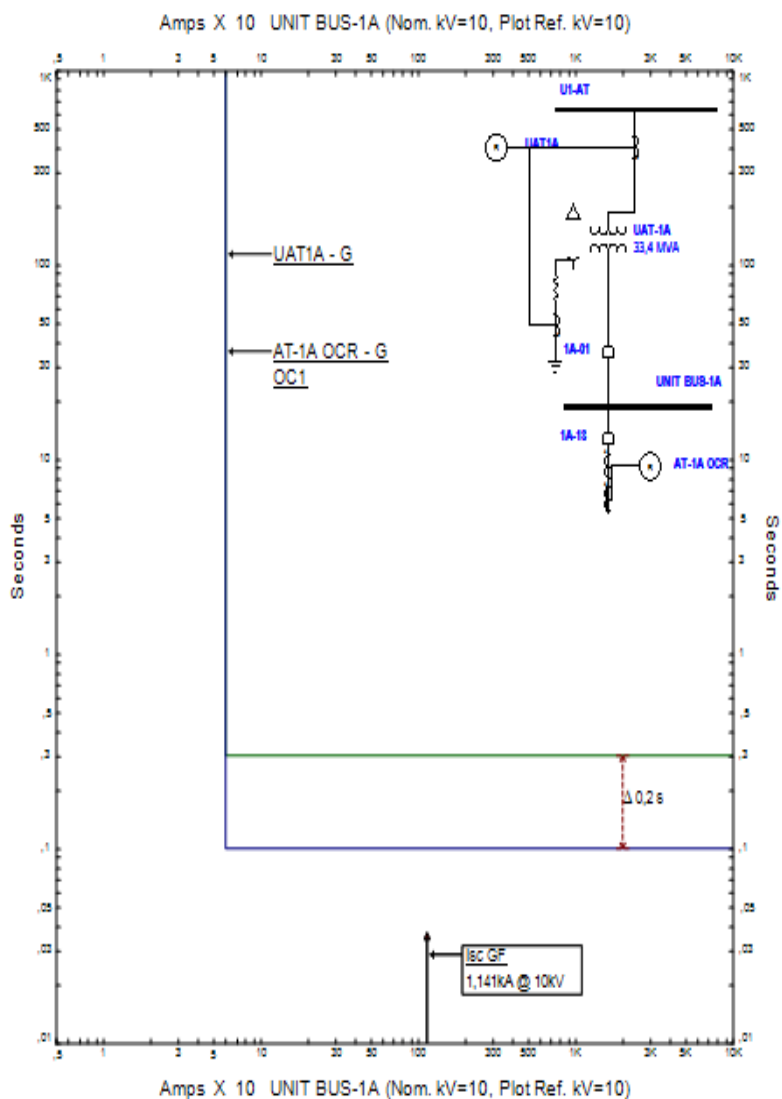
Time Delay

Dipilih *time dial* = 0.3s

Dari Perhitungan diatas lalu dibuat plot kurva koordinasi pengaman pada software simulasi. Hasil plot koordinasi rele pengaman dapat dilihat pada **gambar 4.20 dan 4.21** dibawah ini:



Gambar 4.20 Time current curve resetting arus gangguan ke tanah tegangan 3 kV



Gambar 4.21 Time current curve resetting arus gangguan ke tanah tegangan 10 kV

Sesuai hasil *plot* kurva pada gambar 4.20 dan 4.21 Dapat disimpulkan bahwa:

1. Rele arus lebih gangguan ke tanah pada satu level tegangan sebaiknya disamakan dalam penentuan Iset nya. Karena arus gangguan ke tanah pada satu level tegangan nilai arusnya sama
2. Rele arus lebih gangguan ke tanah dikoordinasikan dengan *grading time* antar rele adalah 0,2 untuk menghindari rele bekerja bersamaan.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi dan analisis koordinasi rele pengaman pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1 dan 2 yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil plot koordinasi kurva arus waktu *existing* Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1 dan 2 memperlihatkan bahwa terdapat beberapa setelan rele yang belum tepat dan koordinasi yang kurang baik, terutama pada setelan *pickup* dan *grading time* antar rele pengaman.
2. Pada *setting* rele eksisting di PLTU Paiton, belum terdapat *grading time*. *Grading time* yang digunakan untuk koordinasi kerja dari rele pengaman adalah sebesar 0.2 detik. Hal ini dianggap sesuai karena dengan *Grading time* sebesar 0.2 – 0,4 detik dapat memberikan waktu yang cukup kepada rele pengaman utama untuk selesai memutus gangguan terlebih dahulu. Pemilihan *Grading time* sebesar 0.2 dan 0.3 detik dianggap paling sesuai mengingat rele yang digunakan adalah rele digital. Pemilihan *Grading time* sebesar 0.2 detik sesuai dengan standar IEEE 242.
3. Hasil plot koordinasi kurva arus waktu *existing* untuk rele arus lebih gangguan tanah rele pengaman gangguan fasa ke tanah masih menggunakan kurva invers. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan *resetting* dan hanya menggunakan kurva definite time saja

5.2 Saran

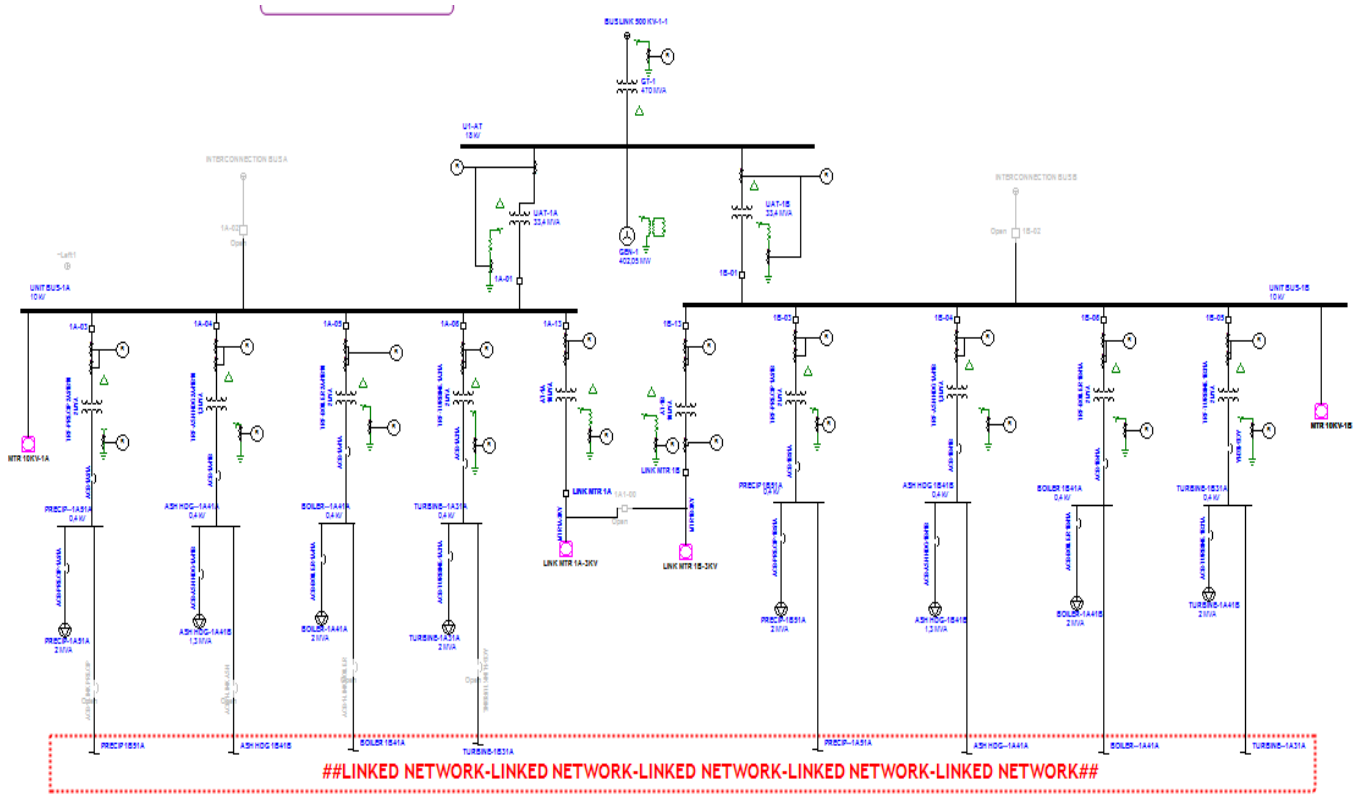
Dengan mempertimbangkan hasil studi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, ada beberapa saran yang dapat menjadi masukan kedepannya, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perlu adanya *setting* ulang peralatan – peralatan pengaman agar koordinasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1 dan 2 ini dapat berjalan dengan baik.
2. Karena adanya penyetelan rele yang kurang tepat, maka digunakan pergantian nilai *setting* rele pengaman dengan perhitungan manual yang disesuaikan manual rele sesuai dengan manufakturnya dan plot koordinasi kurva arus waktu.
3. Dari setting rele pengaman yang didapat dan hasil dari plot kurva arus waktu resetting dapat dijadikan pertimbangan dan referensi dalam melakukan setting rele pengaman pada pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Unit 1 dan 2.

DAFTAR PUSTAKA

1. 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, Ch. 15, 2001
2. Wahyudi, ”*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
3. Cahier Technique No. 158, “*Calculation of Short-circuit Currents*”, Schneider Electric, 2005
4. Anderson, P.M, “*Power System Protection*”, John Wiley & Sons, Inc., Canada, Ch. 3, 1998
5. Prévé, Christophe, “*Protection of Electrical Networks*”, ISTE Ltd., London, Ch. 7, 9, 2006
6. Gurevich, Vladimir, “*Electric Relays, Principle and Application*”, CRC Press, USA, Ch. 10, 2006

Halaman ini sengaja dikosongkan



##LINKED NETWORK-LINKED NETWORK-LINKED NETWORK-LINKED NETWORK##

BIOGRAFI PENULIS



Saktya Hutami Pinastika atau sering dipanggil Tika, lahir di Surabaya pada tanggal 21 Juni 1993. Penulis adalah anak ke-3 dari 4 bersaudara. Penulis memulai jenjang pendidikan dasar di SD Muhammadiyah 1-2 Sepanjang. Setelah 6 tahun belajar di sana, ia melanjutkan pendidikannya ke jenjang menengah tepatnya di SMP Negeri 1 Taman. 3 tahun kemudian, pendidikan jenjang menengah dilanjutkan ke SMA Negeri 3 Sidoarjo. Dan akhirnya dapat lulus seleksi dan dapat melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di jurusan Teknik Elektro ITS dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui email saktyapinastika@gmail.com

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan