



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**EVALUASI PENGATURAN WAKTU RELE PENGAMAN
DI PT PERTAMINA *REFINERY UNIT V* BALIKPAPAN
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
*TRANSIENT STABILITY ASSESSMENT***

Tegar Iman Ababil
NRP 07111440000103

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**EVALUASI PENGATURAN WAKTU RELE PENGAMAN
DI PT PERTAMINA *REFINERY UNIT V* BALIKPAPAN
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
*TRANSIENT STABILITY ASSESSMENT***

Tegar Iman Ababil
NRP 07111440000103

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

***EVALUATION OF THE PROTECTION RELAY TIME
SETTINGS IN PT PERTAMINA REFINERY UNIT V
BALIKPAPAN BY CONSIDERING
TRANSIENT STABILITY ASSESSMENT***

Tegar Iman Ababil
NRP 07111440000103

Supervisors

Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Evaluasi Pengaturan Waktu Rele Pengaman di PT Pertamina Refinery Unit V Balikpapan dengan Mempertimbangkan *Transient Stability Assessment***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan 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, Juni 2018

Tegar Iman Ababil
07111440000103

**EVALUASI PENGATURAN WAKTU RELE
PENGAMAN DI PT PERTAMINA REFINERY
UNIT V BALIKPAPAN DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN *TRANSIENT STABILITY*
*ASSESSMENT***

TUGAS AKHIR

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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.
NIP. 197309271998031004

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT.
NIP. 196603181990101001



EVALUASI PENGATURAN WAKTU RELE PENGAMAN DI PT PERTAMINA REFINERY UNIT V BALIKPAPAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *TRANSIENT STABILITY* ASSESSMENT

Nama mahasiswa : Tegar Iman Ababil
Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

Abstrak:

Suatu sistem tenaga listrik dengan keandalan yang tinggi mampu memenuhi koordinasi pengaman sistem yang baik untuk menjaga kestabilan dan keberlanjutan sistem operasi secara terus menerus. Saat terjadi gangguan, rele pengaman akan bekerja dan memicu *Circuit Breaker* untuk bekerja dalam waktu tertentu. Namun hal tersebut masih belum dapat menjaga kestabilan sistem kembali seperti semula. Evaluasi kestabilan transien dibutuhkan untuk menentukan batas *Critical Clearing Time* (CCT). CCT adalah nilai waktu kritis setelah terjadi gangguan dimana sistem harus menghilangkan gangguan sebelum CCT berlangsung. Jika sistem menghilangkan gangguan setelah waktu CCT maka kestabilan sistem akan terganggu. Saat ini PT Pertamina Refinery Unit (RU) V Balikpapan memiliki pengaturan waktu rele pengaman yang masih belum mempertimbangkan *Transient Stability Assessment*. Keandalan dan kontinuitas sistem dapat ditingkatkan dengan mendapatkan nilai CCT dengan metode *Time Domain Simulation* menggunakan *Power System Analysis software* seperti ETAP. Dari permasalahan yang ada direkomendasikan penggunaan *Bus Differential Relay* yang mampu bekerja dengan waktu operasi yang cepat dan selektif.

Kata kunci: Kestabilan Transien, *Critical Clearing Time*, *Time Domain Simulation*, *Bus Differential Relay*

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUATION OF THE PROTECTION RELAY TIME SETTINGS IN PT PERTAMINA REFINERY UNIT V BALIKPAPAN BY CONSIDERING TRANSIENT STABILITY ASSESSMENT

Student Name : Tegar Iman Ababil
1st Supervisor : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.
2nd Supervisor : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

Abstract:

An electrical system with high reliability is able to meet good system protection coordination to maintain the stability and continuity of the operating system continuously. When an interruption occurs, the Protection Relay will work and trigger the Circuit Breaker to work within a certain time. But it still can not keep the system stability back to normal. Transient stability evaluation is needed to determine the Critical Clearing Time (CCT) limit. CCT is a critical time value after an interruption occurs where the system must eliminate interference before the CCT takes place. If the system eliminates interference after CCT time then the system stability will be disrupted. Currently PT Pertamina Refinery Unit (RU) V Balikpapan has a protection relay timing that still has not considered Transient Stability Assessment. Reliability and continuity system can be enhanced by obtaining CCT value with Time Domain Simulation method using Power System Analysis software such as ETAP. From the existing problems recommended use of Bus Differential Relay that is able to work with a fast operating time.

Keyword: *Transient Stability, Critical Clearing Time, Time Domain Simulation, Bus Differential Relay*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil'Alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

Evaluasi Pengaturan Waktu Rele Pengaman di PT Pertamina Refinery Unit V Balikpapan dengan Mempertimbangkan *Transient Stability Assessment*

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi tahap sarjana pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

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 Ayah (Nuzulul Rohmat Waspodo, S.Sos.) dan Ibu (Siti Kusmiati) serta adik (Zhivora Amelia Haq) penulis, yang telah memberikan segalanya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan Studi Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. dan Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah membina dan memberikan ilmu kepada penulis selama menempuh studi di Teknik Elektro ITS.
4. Seluruh rekan asisten Lab. Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) B-204 atas bantuan, dukungan, kebersamaan dan kerja sama selama ini.
5. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro ITS angkatan 2014 (e54) yang telah menemani dan memberikan dukungan selama masa kuliah sampai penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Bagaimanapun penulis telah berusaha sebaik-baiknya dalam menyusun Tugas Akhir ini, namun penulis mohon maaf apabila terdapat kekurangan, kesalahan maupun kelalaian yang telah penulis lakukan. Kritik dan saran yang membangun dapat disampaikan sebagai bahan perbaikan selanjutnya.

Surabaya, Juni
2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	6
1.7 Relevansi	6
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Pengaman Sistem Tenaga Listrik	7
2.2 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik	8
2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor	8
2.2.2 Kestabilan Frekuensi	10
2.2.3 Kestabilan Tegangan	12
2.3 Kestabilan Transien	14
2.3.1 Gangguan Hubung Singkat	15
2.3.2 Efek <i>Motor Starting</i>	15
2.3.3 Perubahan Beban Seketika	15
2.4 Persamaan Ayunan	16
2.5 <i>Critical Clearing Time</i>	20
2.6 <i>Time Domain Simulation</i>	20
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA RU V	
BALIKPAPAN	21
3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan	21
3.1.1 Data Pembangkitan, Pembebanan dan Demand Pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan	23

3.1.2	Data Kapasitas Pembangkitan Pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan.....	23
3.1.3	Data Transformator Pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan	24
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS DATA		27
4.1	Studi Kasus <i>Transient Stability Assessment</i>	27
4.2	Penentuan <i>Critical Clearing Time</i> (CCT) Pada Tiap Gangguan di Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan.....	30
4.2.1	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 1HT 6.6kV (t=1s)	31
4.2.2	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 3HT 6.6kV (t=1s)	32
4.2.3	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 2AL-B 6.6kV (t=1s).....	34
4.2.4	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 2AL-A 6.6kV (t=1s).....	36
4.2.5	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 1AL-B 6.6kV (t=1s).....	38
4.2.6	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 1AL-A 6.6kV (t=1s).....	40
4.2.7	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W1 33kV (t=1s)	42
4.2.8	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W2 33kV (t=1s)	44
4.2.9	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W3 33kV (t=1s)	46
4.2.10	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W4 33kV (t=1s)	48
4.2.11	Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W5 33kV (t=1s)	50
4.3	Analisis Hasil CCT dengan Pengaturan Waktu Sebelum Mempertimbangkan <i>Transienst Stability Assessment</i>	52
4.4	Rekomendasi Pengaturan Waktu Rele Pengaman PT Pertamina RU V Balikpapan dengan Mempertimbangkan <i>Transienst Stability Assessment</i>	56
4.4.1	Respon Sudut Rotor Sebelum dan Sesudah DilakukaRekomendasi pada Bus 1HT	58

4.4.2	Respon Sudut Rotor Sebelum dan Sesudah Dilakukan Rekomendasi pada Bus 2AL-B.....	61
4.4.3	Respon Sudut Rotor Sebelum dan Sesudah Dilakukan Rekomendasi pada Bus 2AL-A.....	64
4.4.4	Respon Sudut Rotor Sebelum dan Sesudah Dilakukan Rekomendasi pada Bus 1AL-A.....	67
BAB 5 KESIMPULAN		72
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN.....		77
BIODATA PENULIS		94

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram alir metodologi tugas akhir	5
Gambar 2.1	Klasifikasi kestabilan sistem tenaga [4]	8
Gambar 2.2	Respon sudut rotor saat terjadi gangguan transien [5]	10
Gambar 2.3	Standar operasi frekuensi <i>Steam Turbine Generator</i> [6]	11
Gambar 2.4	Representasi arah putaran percepatan rotor terhadap torsi mekanik dan torsi elektrik	17
Gambar 3.1	Gambar <i>Single Line Diagram</i> sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan	22
Gambar 4.1	Contoh <i>Transient Study Case</i> pada <i>software</i> ETAP 12.6	29
Gambar 4.2	<i>Transient Stability Plot Selection</i> pada <i>software</i> ETAP 12.6	30
Gambar 4.3	Respon sudut rotor pada bus 1HT saat gangguan dihilangkan di waktu 0,40s	31
Gambar 4.4	Respon sudut rotor pada bus 1HT saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s	32
Gambar 4.5	Respon sudut rotor pada bus 3HT saat gangguan dihilangkan di waktu 0,93s	33
Gambar 4.6	Respon sudut rotor pada bus 3HT saat gangguan dihilangkan di waktu 0,94	34
Gambar 4.7	Respon sudut rotor pada bus 2AL-B saat gangguan dihilangkan di waktu 0,44s	35
Gambar 4.8	Respon sudut rotor pada bus 2AL-B saat gangguan dihilangkan di waktu 0,45s	36
Gambar 4.9	Respon sudut rotor pada bus 2AL-A saat gangguan dihilangkan di waktu 0,46s	37
Gambar 4.10	Respon sudut rotor pada bus 2AL-A saat gangguan dihilangkan di waktu 0,47s	38
Gambar 4.11	Respon sudut rotor pada bus 1AL-B saat gangguan dihilangkan di waktu 0,58s	39
Gambar 4.12	Respon sudut rotor pada bus 1AL-B saat gangguan dihilangkan di waktu 0,59s	40

Gambar 4.13	Respon sudut rotor pada bus 1AL-A saat gangguan dihilangkan di waktu 0,40s	41
Gambar 4.14	Respon sudut rotor pada bus 1AL-A saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s	42
Gambar 4.15	Respon sudut rotor pada bus W1 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s	43
Gambar 4.16	Respon sudut rotor pada bus W1 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s	44
Gambar 4.17	Respon sudut rotor pada bus W2 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s	45
Gambar 4.18	Respon sudut rotor pada bus W2 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s	46
Gambar 4.19	Respon sudut rotor pada bus W3 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s	47
Gambar 4.20	Respon sudut rotor pada bus W3 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s	48
Gambar 4.21	Respon sudut rotor pada bus W4 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s	49
Gambar 4.22	Respon sudut rotor pada bus W4 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s	50
Gambar 4.23	Respon sudut rotor pada bus W5 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s	51
Gambar 4.24	Respon sudut rotor pada bus W5 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s	52
Gambar 4.25	Penempatan rele diferensial pada ring bus [3].	55
Gambar 4.26	Contoh <i>Transient Stability Study Case</i> dengan event “CB Open”	57
Gambar 4.27	<i>Sequence of Operation Event</i> pada bus 1HT sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial	58
Gambar 4.28	Respon sudut rotor pada bus 1HT sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	59
Gambar 4.29	<i>Sequence of Operation Event</i> pada bus 1HT sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial	60

Gambar 4.30	Respon sudut rotor pada bus 1HT sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	60
Gambar 4.31	<i>Sequence of Operation Event</i> pada bus 2AL-B sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	61
Gambar 4.32	Respon sudut rotor pada bus 2AL-B sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	62
Gambar 4.33	<i>Sequence of Operation Event</i> pada bus 2AL-B sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	63
Gambar 4.34	Respon sudut rotor pada bus 2AL-B sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	63
Gambar 4.35	<i>Sequence of Operation Event</i> pada bus 2AL-A sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	64
Gambar 4.36	Respon sudut rotor pada bus 2AL-A sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	65
Gambar 4.37	<i>Sequence of Operation Event</i> pada bus 2AL-A sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	66
Gambar 4.38	Respon sudut rotor pada bus 2AL-A sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	66
Gambar 4.39	<i>Sequence of Operation Event</i> pada bus 1AL-A sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	67
Gambar 4.40	Respon sudut rotor pada bus 1AL-A sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	68
Gambar 4.39	<i>Sequence of Operation Event</i> pada bus 1AL-A sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	69

Gambar 4.42	Respon sudut rotor pada bus 1AL-A sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.	69
Gambar 4.43	Rekomendasi penempatan rele diferensial dengan mempertimbangkan <i>Transient Stability Assessment</i>	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori dan karakteristik standard tegangan menurut IEEE Std 1159-2009 [7]	13
Tabel 3.1	Jumlah total pembangkitan, pembebanan dan Demand PT Pertamina RU V Balikpapan	23
Tabel 3.2	Data kapasitas seluruh generator pada sistem PT Pertamina RU V Balikpapan.....	23
Tabel 3.3	Data Kapasitas Tie-Transformator pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan	24
Tabel 3.4	Data kapasitas transformator pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan	24
Tabel 4.1	Pengaturan rele pengaman PT Pertamina RU V Balikpapan menurut referensi [2].....	53
Tabel 4.2	Perbandingan waktu waktu penghilangan gangguan bus dibawah generator sebelum memperhatikan <i>Transient Stability Assessment</i> dengan nilai CCT	54
Tabel 4.3	Perbandingan waktu penghilangan gangguan pada bus ring sebelum memperhatikan <i>Transient Stability Assessment</i> dengan nilai CCT	56
Tabel 4.3	Perbandingan waktu penghilangan gangguan setelah penambahan rele diferensial dengan nilai CCT	70

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Pertamina (Persero) memiliki enam unit pengolahan kilang yang tersebar diseluruh Indonesia salah satunya PT Pertamina RU V Balikpapan yang telah menyalurkan produknya ke kawasan Indonesia Timur atau setara dengan 2/3 bagian Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI). PT Pertamina RU V Balikpapan merupakan unit pengolahan yang memasok Bahan Bakar Minyak (BBM) dan Bahan Bakar Non Minyak (BBNM) kedua terbesar setelah RU IV Cilacap dimana salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang 100% sahamnya dimiliki oleh negara ini memegang peran penting bagi ketersediaan BBM dan BBNM yang telah ada di Indonesia. Peran inilah yang membuat proses produksi harus berjalan secara terus menerus. Sehingga butuh adanya kestabilan sistem tenaga listrik yang baik agar mampu menanggung semua kebutuhan kelistrikan sistem PT Pertamina RU V Balikpapan.

Pada sistem tenaga listriknya PT Pertamina RU V Balikpapan terhubung pada sistem interkoneksi 11 *Steam Turbine Generator* (STG) dengan tambahan dua *Distributed Generator* (DG) yang tersambung pada tegangan bus 33kV, bus 6.6kV dan bus 0.38kV. Banyaknya STG yang terhubung mengharuskan sistem melakukan sinkronisasi pada setiap generator agar kestabilan sistem terjaga dengan baik. Proteksi sistem tenaga listrik yang telah ada hanya bergantung pada pengaturan waktu rele pengaman yang tersebar pada tiap penyulang. Saat terjadi gangguan hubung singkat maka rele pengaman akan mendeteksi gangguan dan akan memicu kerja dari *Circuit Breaker* untuk menghilangkan gangguan. Namun penghilangan gangguan tersebut belum menjamin kestabilan sistem dapat kembali stabil sehingga dibutuhkan suatu parameter tambahan agar setelah gangguan hubung singkat terjadi sistem dapat kembali stabil. Salah satu solusi dari permasalahan tersebut yaitu dengan analisis kestabilan transien sistem dengan memperhitungkan nilai *Critical Clearing Time* (CCT). CCT merupakan perhitungan nilai batas waktu penghilangan kritis setelah terjadi suatu gangguan pada sistem. Dengan kata lain untuk membuat sistem kembali stabil maka

penghilangan gangguan harus dilakukan sebelum batas waktu CCT yang ada.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini yaitu:

1. Bagaimana kestabilan transien pada PT Pertamina RU V Balikpapan dengan memperhatikan parameter respon kestabilan sudut rotor saat terjadi gangguan menggunakan metode *Time Domain Simulation*.
2. Bagaimana menentukan nilai CCT pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan.
3. Bagaimana evaluasi pengaturan waktu rele pengaman dengan mempertimbangkan *Transient Stability Assesment*.

1.3 Batasan Masalah

Terdapat batasan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini, yaitu:

1. CCT hanya diamati dari parameter respon sudut rotor generator.
2. Gangguan yang terjadi berupa hubung singkat tiga fasa.
3. Hubung singkat dilakukan pada bus tegangan menengah yang berada dibawah generator dan bus ring.
4. Rele yang dibandingkan merupakan rele pengaman arus lebih (*Overcurrent Relay*).

1.4 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Menganalisis kestabilan transien berupa parameter respon sudut rotor dari metode *Time Domain Simulation* menggunakan *software* ETAP 12.6.
2. Mendapatkan nilai CCT dari parameter respon kestabilan akibat gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus level tegangan menengah sistem PT Pertamina RU V Balikpapan.
3. Mengevaluasi pengaturan waktu rele pengaman dengan memperhatikan nilai CCT pada PT Pertamina RU V Balikpapan untuk menjaga kestabilan transien dengan membandingkan pengaturan waktu rele sebelum dan

sesudah mempertimbangkakan *Transient Stability Assessment*

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur diperlukan untuk memperkuat teori penunjang dalam pengerjaan Tugas Akhir.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam pengerjaan Tugas Akhir, seperti Single Line Diagram (SLD) dan data-data pengaturan waktu rele proteksi pada Pertamina RU V Balikpapan yang telah digunakan saat ini.

3. Permodelan Sistem

Pemodelan sistem dirancang dalam bentuk Single Line Diagram dengan software ETAP 12.6 yang dapat merepresentasikan sistem Pertamina RU V Balikpapan yang telah ada.

4. Penentuan Nilai Waktu Penghilangan gangguan dengan *Circuit Breaker*

Penentuan nilai waktu penghilangan gangguan menggunakan *Circuit Breaker* akan digunakan untuk mendapatkan nilai CCT pada sistem saat terjadi gangguan.

5. Simulasi dan Analisis Respon Sudut Rotor Pada Generator

Dengan melakukan simulasi kestabilan transien pada sistem kelistrikan yang ada pada Pertamina RU V Balikpapan dengan software ETAP 12.6. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk mengetahui respon sudut rotor generator sebagai salah satu parameter untuk melihat kestabilan sistem. Simulasi tersebut akan dijadikan acuan untuk melihat kestabilan sistem.

6. Perbandingan dengan pengaturan waktu rele pengaman sebelum dan sesudah mempertimbangkan *Transient Stability Assessment*

Perbandingan nilai pengaturan waktu rele pengaman yang telah ada dengan nilai CCT yang telah disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6. Jika waktu pengaturan awal sebelum mempertimbangkan *Transient Stability*

Assessment diatas nilai CCT maka disarankan untuk dilakukan perbaikan pengaturan waktu rele dengan mempertimbangkan nilai CCT.

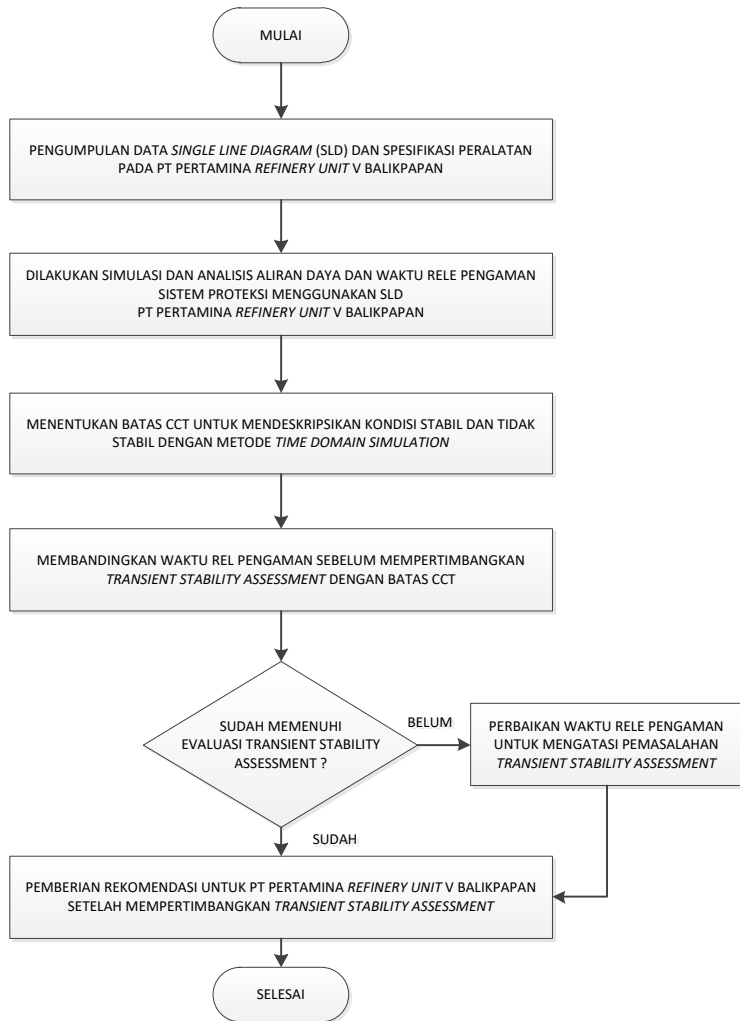
7. Pemberian Rekomendasi

Penulis akan memberikan rekomendasi sebagai bahan pertimbangan terhadap sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan *Transient Stability Assessment*

8. Kesimpulan

Memberikan kesimpulan terhadap Tugas Akhir tentang Evaluasi Pengaturan Waktu Rele Pengaman pada PT Pertamina RU V Balikpapan dengan Mempertimbangkan *Transient Stability Assessment*.

Dari metodologi yang ada dapat dibuat sebuah alur diagram yang ditunjukkan pada **Gambar 1.1**.



Gambar 1.1 Diagram alir metodologi tugas akhir

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Dasar Teori

Bab ini secara umum membahas teori penunjang kestabilan sistem, gangguan dan beberapa standar dalam kestabilan sistem tenaga listrik.

Bab 3 : Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Bab ini membahas profil kelistrikan pada PT Pertamina RU V Balikpapan berupa data-data peralatan dan besar daya yang mengalir.

Bab 4 : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas tentang hasil simulasi yang dilakukan, meliputi penentuan keadaan stabil dan tidak stabil suatu generator ketika gangguan dihilangkan dengan mempertimbangkan beberapa parameter untuk mendapatkan nilai CCT dan pemberian rekomendasi yang dapat memungkinkan untuk meningkatkan kualitas sistem tenaga listrik PT Pertamina RU V Balikpapan.

Bab 5 : Kesimpulan

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan bahan pertimbangan pengaturan waktu rele pengaman sistem tenaga listrik pada Pertamina RU V Balikpapan dengan memperhatikan nilai CCT agar sistem mampu kembali stabil setelah terjadi gangguan.
2. Dapat menjadi referensi terkait kestabilan transien sistem, referensi waktu penghilangan gangguan dan pengaturan waktu rele proteksi pada sistem kelistrikan Pertamina RU V Balikpapan untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Pengaman Sistem Tenaga Listrik

Pengaman sistem tenaga listrik memiliki tujuan untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat arus gangguan. Rele pengaman harus mampu menghilangkan arus gangguan dengan memicu kerja dari *Circuit Breaker* atau pemutus tenaga sebagai cara pencegahan dari kerusakan peralatan pada sistem kelistrikan dan sebagai penjaga pasokan tenaga listrik tetap stabil [1].

Dalam sistem pengaman tenaga listrik yang baik, rele yang bekerja dalam sistem harus mampu bekerja secara koordinatif. Koordinasi dalam rele pengaman akan sangat membantu menghilangkan gangguan secara selektif pada zona yang mampu diamankan oleh rele pengaman. Dimana zona pengaman yang dimaksud yaitu zona primer dan zona *back up*. Sehingga saat gangguan dan gagal dihilangkan dengan rele yang berada pada zona primer maka rele yang berada di zona *back up* akan membantu untuk menghilangkan gangguan dengan waktu tunda (*time delay*) yang telah diatur sebelumnya. Selain itu desain yang sederhana, kecepatan operasi, sensitivitas rele pengaman, biaya minimum bagi peralatan dan proteksi maksimum serta keandalan merupakan dasar-dasar dalam pemilihan rele pengaman yang tepat untuk sistem kelistrikan.

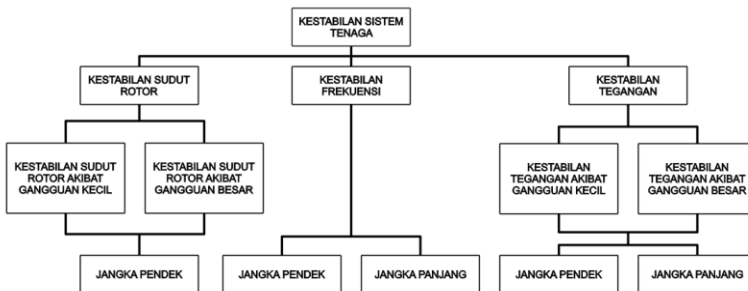
Pada PT Pertamina RU V Balikpapan sebelumnya pernah dilakukan studi tentang pengaman sistem tenaga listrik dengan mempertimbangkan koordinasi rele pengaman arus lebih pada level bus 6,6kV dan 0,38kV untuk mengevaluasi pengaruh *Distributed Generation* (DG) [2]. Dari hasil koordinasi yang ada, saat terjadi gangguan pada sistem akan memutuskan gangguan dengan selektif. Selain studi koordinasi rele pengaman arus lebih pada PT Pertamina RU V Balikpapan juga pernah dilakukan studi koordinasi pada sisi *Ring Bus* 33kV dengan menggunakan *Bus Differential Relay* (Rele Diferensial Bus) [3] untuk membuat sistem proteksi dapat bekerja dengan cepat dan selektif memutus arus gangguan yang muncul.

2.2 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Definisi dari kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kondisi dimana suatu *multimachine* atau generator yang terhubung secara sinkron memiliki kemampuan untuk kembali ke titik seimbangnya setelah mengalami gangguan pada sistem. Gangguan yang terjadi pada sistem akan membuat arus dan tegangan berubah di setiap bus sistem. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya perbedaan nilai input mekanis dari sebuah *prime mover* dan keluaran tenaga listrik dari generator yang berimbas pada kecepatan putar rotor pada generator yang bekerja. Salah satu gangguan yang dapat menyebabkan perubahan sudut rotor dari generator ialah gangguan *Short Circuit* atau hubung singkat. Menurut *IEEE Transactions on Power System Vol. 19, No. 2, May 2004* [4] kestabilan terbagi atas tiga klasifikasi yaitu :

- Kestabilan Sudut Rotor
- Kestabilan Frekuensi
- Kestabilan Tegangan

Beberapa klasifikasi kestabilan sistem juga memiliki sub-kategori bergantung pada lamanya durasi dan berapa besar gangguan yang dialami sistem tersebut. Kestabilan sistem tersebut dapat digambarkan sebagai bagan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Klasifikasi kestabilan sistem tenaga [4]

2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor

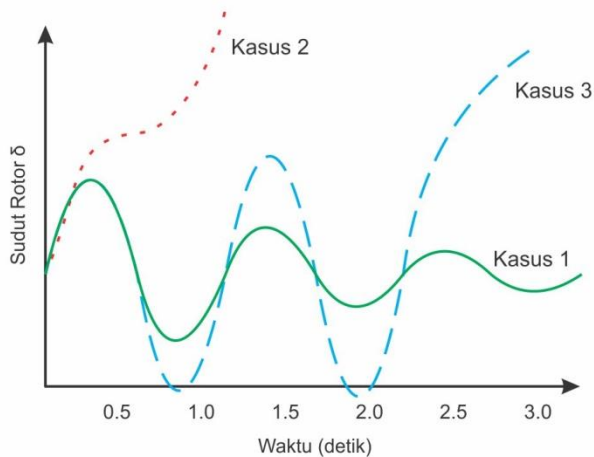
Kestabilan Sudut Rotor merupakan kemampuan dari sistem yang memiliki beberapa generator yang terhubung agar dapat kembali ke titik seimbangnya untuk mempertahankan keadaan

sinkron setelah mengalami gangguan [5]. Dengan bergantung pada keseimbangan torsi elektrik dan torsi mekanik pada generator akan membuat ke cepatan sudut rotor generator terjaga saat hilangnya keseimbangan antargenerator. Ketika terjadi gangguan pada sistem akan menyebabkan perubahan keseimbangan torsi elektik dan torsi mekanik sehingga mengakibatkan percepatan atau perlambatan sudut rotor. Kestabilan sudut rotor dibagi menjadi dua ketegori yaitu :

- Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil
- Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar

Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil terjadi pada kurun waktu 10-20 detik setelah gangguan. Bertujuan untuk mempertahankan sistem dari gangguan seperti kurangnya torsi sinkronisasi dan torsi damping. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar dapat diamati dalam kurun waktu 3-5 detik setelah gangguan, atau 10-20 detik saat sistemnya lebih besar.

Pada **Gambar 2.2** akan menunjukkan respon dari sudut rotor generator akibat gangguan transien pada beberapa kasus untuk menunjukkan keadaan stabil dan tidak stabil dari generator. Kasus pertama terjadi ketika gangguan dihilangkan sudut rotor yang naik akan menurun hingga mencapai keadaan steady yang dapat merepresentasikan keadaan stabil. Kasus kedua terjadi ketika sudut rotor naik secara bertahap hingga generator tersebut lepas dari sinkron. Kasus ketiga terjadi saat generator berosilasi terus menerus kemudian akan lepas dari sinkronnya.



Gambar 2.2 Respon sudut rotor saat terjadi gangguan transien [5]

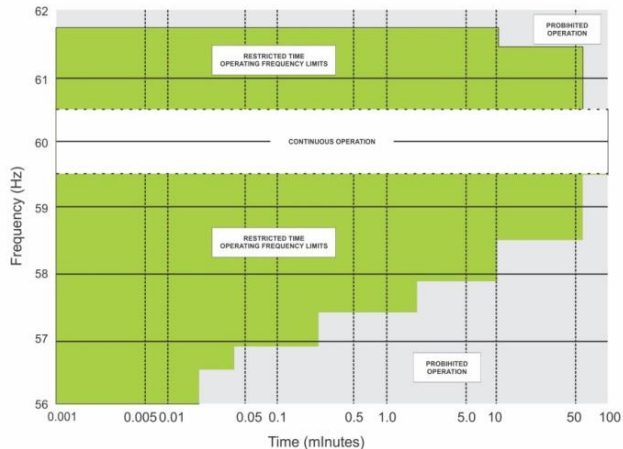
2.2.2 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan Frekuensi merupakan kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan frekuensi stabil setelah terjadi gangguan sistem [4]. Pada kenyataannya kestabilan frekuensi sering dikaitkan dengan ketidakcukupan respon peralatan, koordinasi proteksi dan control yang buruk serta cadangan daya generator yang tidak mencukupi.

Klasifikasi kestabilan frekuensi dibagi menjadi dua yaitu kestabilan frekuensi jangka pendek dan kestabilan frekuensi jangka panjang. Contoh fenomena kestabilan frekuensi jangka pendek diakibatkan pelepasan beban sehingga frekuensi turun secara mendadak dan mengakibatkan sistem mati dalam beberapa detik. Sedangkan fenomena kestabilan frekuensi jangka panjang berhubungan dengan kinerja governor yang buruk ketika terjadi gangguan dalam rentang waktu puluhan detik hingga beberapa menit.

Dalam penentuan kestabilan frekuensi terdapat pula standar yang akan digunakan dalam dasar pengoperasian generator tenaga uap (*Steam Turbine Generator*). Menurut IEEE Std C37.106-2003 [6] frekuensi pada generator merupakan salah satu perhatian utama yang dapat mempengaruhi kinerja dari suatu sistem kelistrikan.

Steam Turbine Generator memiliki beberapa baris *turbine blades* yang memiliki panjang yang berbeda dan akan diputar oleh tekanan uap sehingga dapat menyebabkan perubahan kecepatan rotasi turbin. Berikut **Gambar 2.3** yang menunjukkan standar operasi frekuensi untuk *Steam Turbine Generator* :



Gambar 2.3 Standar operasi frekuensi *Steam Turbine Generator* [6]

Pada gambar terdapat tiga daerah operasi untuk *Steam Turbine Generator* yaitu :

- *Restricted Time Operating Frequency Limit*
Daerah operasi frekuensi yang masih diijinkan dalam waktu tertentu dan bersifat sementara (bergantung pada besar kecilnya frekuensi dan waktu operasi).
- *Prohibited Operation*
Daerah operasi frekuensi yang tidak diijinkan atau terlarang. Jika frekuensi berada pada daerah operasi ini dapat dikatakan bahwa sistem tersebut telah kehilangan kestabilan frekuensinya.
- *Continuous Operation*
Daerah operasi frekuensi normal pada sistem. Dimana tiap manufaktur generator memiliki batas operasi frekuensi abnormalnya. Dalam gambar standard operasi normal 60 Hz berada antara batas frekuensi 59,5 Hz hingga 60,5 Hz.

Sedangkan jika dibawa pada frekuensi normal 50 Hz batas frekuensinya berubah menjadi 49,58 Hz (99,17%) hingga 50,42 Hz (100,83).

2.2.3 Kestabilan Tegangan

Kestabilan Tegangan merupakan kemampuan sistem mempertahankan kestabilan tegangan pada semua bus sistem setelah mengalami gangguan [4]. Kestabilan tegangan didasari dari kesetimbangan daya generator dengan besarnya pembebanan pada suatu sistem. Kestabilan tegangan berhubungan dengan besar atau kecilnya gangguan yang terjadi dan seberapa lama jangka waktu yang terjadi.

Kestabilan tegangan jika dilihat dari besar atau kecilnya gangguan dapat dibagi atas dua kondisi yaitu akibat gangguan kecil dan akibat gangguan besar. Dimana kestabilan tegangan akibat gangguan kecil meliputi fenomena perubahan beban. Sedangkan kestabilan tegangan akibat gangguan besar meliputi fenomena generator lepas dan gangguan hubung singkat.

Kestabilan tegangan saat dilihat dari jangka waktunya terbagi atas dua kondisi yaitu kestabilan tegangan jangka pendek dan kestabilan tegangan jangka panjang. Kestabilan tegangan jangka pendek terjadi dalam durasi 0,5 cycle hingga 1 menit. Dimana kestabilan jangka pendek tersebut terbagi atas dua keadaan yaitu kedip tegangan (Voltage Sags) dan kenaikan tegangan (Voltage Swells). Lain kondisinya dengan kestabilan tegangan jangka panjang yang terjadi dalam durasi lebih dari 1 menit. Dimana juga terbagi atas dua keadaan yaitu tegangan lebih (overvoltage) dan tegangan kurang (undervoltage).

Kestabilan tegangan memiliki standar operasi sistem dengan memperhatikan kondisi tegangannya. Dimana standar tersebut berada dalam *IEEE Std 1159 2009 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality* [7] yang menjelaskan tentang fenomena tegangan dalam sistem kelistrikan. Berikut **Tabel 2.1** yang menunjukkan beberapa kategori dan karakteristik tipikal dalam fenomena sistem kelistrikan :

Tabel 2.1 Kategori dan karakteristik standard tegangan menurut *IEEE Std 1159-2009* [7]

CATEGORIES	TYPICAL SPECTRAL CONTENT	TYPICAL DURATION	TYPICAL VOLTAGE MAGNITUDE
1.0 Transient 1.1 Impulse 1.1.1 Nanosecond 1.1.2 Microsecond 1.1.3 Millisecond 1.2 Oscillatory 1.2.1 Low frequency 1.2.2 Medium frequency 1.2.3 High frequency	5 ns rise 1 us rise 0.1 ms rise < 5 kHz 5-500 kHz 0.5-5 MHz	< 50 ns 50 ns - 1 ms > 1 ms 0.3-50 ms 20 us 5 us	 0-4 pu 0-8 pu 0-4 pu
2.0 Short-duration root mean square (rms) variations 2.1 Instantaneous 2.1.1 Sag 2.1.2 Swell 2.2 Momentary 2.2.1 Interruption 2.2.2 Sag 2.2.3 Swell 2.3 Temporary 2.3.1 Interruption 2.3.2 Sag 2.3.3 Swell		 0.5-30 cycles 0.5-30 cycles 0.5 cycles – 3 s 30 cycles – 3 s 30 cycles – 3 s > 3 s - 1 min > 3 s - 1 min > 3 s - 1 min	 0.1-0.9 pu 1.1-1.8 pu <0.1 pu 0.1-0.9 pu 1.1-1.2 pu 0.0 pu 0.8-0.9 pu 1.1-1.2 pu
3.0 Long duration rms variations 3.1 Interruption sustained 3.2 Undervoltages 3.3 OverVoltages 3.4 Current overload		 > 1 min > 1 min > 1 min > 1 min	 0.5-2 % 1.0-30 % 1.1-1.2 pu
4.0 Imbalance 4.1 Voltage 4.2 Current		 steady state steady state	 0.5-2 % 10-30 %
5.0 Waveform distortion 5.1 DC offset 5.2 Harmonics 5.3 Interharmonics 5.4 Notching 5.5 Noise		 steady state steady state steady state steady state steady state	 0-0.1 % 0-20 % 0-2 % 0-1 %
6.0 Voltage fluctuation	< 25 Hz	intermittent	0.1-7 % 0.2-2 pu
7.0 Power frequency variation		< 10 s	< 0.1 Hz

Dalam tabel diatas terlihat bahwa standar tegangan terbagi atas beberapa kejadian dalam rentang waktu yang berbeda. Terdapat beberapa kategori seperti *Transient*, *Short Duration RMS*, *Long*

Duration RMS, Imbalance, Waveform Distortion, Voltage Fluctuation dan *Power Frequency Variations*. Dimana setiap fenomena memiliki waktu tertentu.

Selain standar tegangan yang diatur oleh *IEEE Std 1159 2009 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, terdapat pula standard operasi tegangan yang dikeluarkan oleh Perusahaan Listrik Nasional (PLN). Berikut standar tegangan PLN :

- 500 kV + 5%, -5%
- 150 kV + 5%, -10%
- 70 kV + 5%, -10%
- 20 kV + 5%, -10%

2.3 Kestabilan Transien

Kestabilan Transien merupakan kemampuan sistem untuk kembali sinkron setelah sistem mengalami gangguan besar seketika dan terjadi dalam periode ayunan pertama. Kestabilan ini terjadi saat pengatur tegangan otomatis (exciter) dan pengatur frekuensi (governor) belum bekerja. Kestabilan perlu diklasifikasikan berdasarkan beberapa parameter [8], yaitu :

- Ukuran dari besarnya gangguan
- Permodelan dan analisis yang tepat dan spesifikasi gangguan
- Rentang waktu saat gangguan berlangsung
- Parameter sistem yang paling berpengaruh

Dalam *Transient Stability Assesment* atau analisis kestabilan transien ini tidak lagi membahas kestabilan steady state. Dimana saat suatu sistem dikatakan stabil pada kondisi steady state namun belum tentu stabil saat terjadi gangguan transien. Sehingga perlu dilihat dari perubahan respon sudut rotor untuk mengamati kestabilan transien. Sebelumnya pernah dilakukan studi kestabilan transien pada PT Pertamina RU V Balikpapan menurut referensi [9] Tugas Akhir Yudiestira yang berjudul “Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT Pertamina RU V Balikpapan Akibat Penambahan Generator 2x15MW dan Penambahan Beban 25MW”. Dalam referensi tersebut terdapat beberapa gangguan yang mampu mempengaruhi kestabilan transien, yaitu :

- Gangguan hubung singkat

- Efek *starting motor*
- Perubahan beban seketika

2.3.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat merupakan salah satu gangguan yang sering sekali terjadi pada sistem kelistrikan tenaga. Saat terjadi hubung singkat akan timbul aliran arus yang bernilai sangat besar menuju titik gangguan sehingga menimbulkan tegangan sekitar titik gangguan menurun drastis. Sumber arus gangguan hubung singkat umumnya terjadi akibat generator sinkron [10]. Gangguan hubung singkat terbagi atas dua jenis yaitu hubung singkat asimetri dan hubung singkat simetri. Hubung singkat tiga fasa merupakan contoh dari hubung singkat simetri sedangkan fenomena hubung singkat lainnya termasuk hubung singkat asimetri. Hal tersebut dikarenakan ketika hubung singkat asimetri arus pada fasa yang mengalami hubung singkat akan naik sedangkan fasa yang lainnya akan mengalami kenaikan tegangan.

Dalam dunia kelistrikan gangguan hubung singkat paling bahaya yaitu hubung singkat tiga fasa karena memiliki dampak kerusakan yang besar pada suatu sistem. Namun walaupun hubung singkat asimetri lebih kecil risikonya dari pada hubung singkat simetri, hubung singkat asimetri merupakan fenomena yang paling sering terjadi jika dibandingkan hubung singkat simetri. Hubung singkat asimetri terbagi atas hubung singkat antar fasa (Line to Line) dan hubung fasa ke tanah (Line to Ground).

2.3.2 Efek Motor Starting

Terdapat arus yang bernilai sangat tinggi setara dengan 6 hingga 8 kali dari arus normalnya saat awal motor akan dilakukan *starting*. Arus tersebut dinamakan *Locked Rotor Current* (LRC) yang memiliki nilai berbeda-beda tiap motor. Sehingga ketika terdapat arus yang tinggi pada sistem akan mengakibatkan drop tegangan. Selain itu akibat dari LRC akan menimbulkan penurunan frekuensi generator saat rugi-rugi daya aktif membesar.

2.3.3 Perubahan Beban Seketika

Penambahan beban secara seketika dapat memengaruhi sistem kelistrikan kemudian dapat menimbulkan gangguan peralihan saat jumlah beban melebihi batas atau saat beban dinaikkan hingga

terjadi osilasi. Ketika terjadi pembebanan secara seketika akan timbul arus yang sangat besar sehingga mengakibatkan frekuensi sistem akan menurun. Turunnya frekuensi akan membuat sistem kehilangan sinkron karena sudut daya δ bertambah besar melampaui batas kritisnya kemudian membuat generator tidak stabil.

2.4 Persamaan Ayunan

Persamaan Ayunan merupakan persamaan yang berhubungan dengan gerakan rotor mesin sinkron yang menganut prinsip dasar dinamika tentang momen putar kecepatan (*accelerating torque*) adalah hasil kali dari percepatan sudut dan kelembaman rotor (*moment of inertia*) [10]. Persamaan ayunan dari generator sinkron dapat dituliskan sebagai berikut :

$$J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.1)$$

Keterangan :

J : adalah momen inertia total dari massa rotor (kg-m^2),

θ_m : adalah pergeseran sudut rotor terhadap sumbu yang diam dalam radian mekanis (rad),

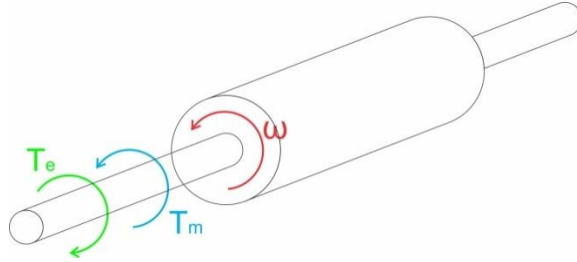
t : adalah waktu dalam satuan detik (s),

T_a : adalah momen putar kecepatan percepatan bersih (N-m),

T_m : adalah momen putar mekanis atau poros penggerak yang diberikan oleh prime mover dikurangi dengan momen putar perlambatan (*retarding*) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran (N-m) dan

T_e : adalah momen putar listrik atau elektromagnetik (N-m).

Saat keadaan tetap (*steady state*) T_a akan bernilai nol karena tidak ada percepatan ataupun perlambatan pada massa rotor sehingga kecepatan resultannya merupakan kecepatan sinkron generator tersebut. Diasumsikan T_m dianggap konstan pada kondisi operasinya karena kecepatan putar prime mover diatur oleh governor. Dimana governor belum bekerja pada periode transien. Sehingga saat T_e mengalami penurunan maka akan terjadi percepatan pada kecepatan sinkron generator. Sedangkan saat T_e mengalami peningkatan akan mengakibatkan perlambatan kecepatan sinkron generator.



Gambar 2.4 Representasi arah putaran percepatan rotor terhadap torsi mekanik dan torsi elektrik

Kecepatan rotor bersifat relative pada kecepatan sinkron, maka untuk mengukur posisi sudut motor terhadap sumbu referensi yang berputar pada kecepatan sinkron dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\theta_m = \omega_{sm} t + \delta_m \quad (2.2)$$

Keterangan :

ω_{sm} : Kecepatan sinkron mesin (radians/secons),

δ_m : Sudut pergeseran rotor, dalam mechanical radians terhadap sumbu refrensi putaran sinkron (derajat)

Persamaan (2.2) dapat diturunkan menjadi :

$$\frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt} \quad (2.3)$$

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2} \quad (2.4)$$

Persamaan (2.3) menunjukkan bahwa kecepatan sudut rotor $\frac{d\theta_m}{dt}$ adalah konstan dan pada saat kecepatan sinkron $\frac{d\delta_m}{dt}$ akan bernilai nol. Sehingga $\frac{d\delta_m}{dt}$ akan menunjukkan simpangan kecepatan rotor dengan satuan *mechanical radians per second*. Dari persamaan dapat mewakikan bahwa kecepatan rotor dapat diukur pada *mechanical radians per second* kuadrat. Kemudian dengan

mensubstitusikan persamaan (2.4) pada persamaan (2.1) akan didapatkan :

$$J \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (N - m) \quad (2.5)$$

Untuk mempermudah persamaan kecepatan sudut rotor maka akan didefinisikan kembali menjadi :

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} \quad (2.6)$$

Menurut dasar dinamika rotor mengatakan bahwa (P) merupakan hasil kali antara torsi dengan kecepatan sudut. Jika persamaan (2.5) dikalikan dengan ω_m maka akan didapat persamaan sebagai berikut :

$$J \omega_m \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (W) \quad (2.7)$$

Keterangan :

P_m : Daya mekanik

P_e : Daya elektrik

P_a : Daya percepatan yang mampu mengakibatkan ketidakseimbangan antara daya mekanik dan dayaelektrik

Koefisien $J \omega_m$ merupakan momentum sudut rotor pada kecepatan sinkron yang dapat di notasikan dengan M (konstanta inersia mesin) dengan satuan *joule-seconds per mechanical radian*. Maka persamaan dapat juga di tulis sebagi berikut:

$$M \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (W) \quad (2.8)$$

Dalam studi kestabilan transien akan dijumpai data inersia mesin (H) yang didefinisikan sebagi berikut :

$$H = \frac{\text{daya kinetik pada kecepatan sinkron (MJ)}}{\text{rating mesin (MVA)}} \quad (2.9)$$

$$H = \frac{\frac{1}{2}J\omega_m^2}{s_{mach}} = \frac{\frac{1}{2}M\omega_{sm}}{s_{mach}} \quad (MJ/MVA) \quad (2.10)$$

Koefisien s_{mach} merupakan raring 3 fasa dari mesin dalam satuan MVA. Sehingga untuk mendapatkan nilai M, persamaan (2.10) dapat diselesaikan menjadi :

$$M = \frac{2H}{\omega_{sm}} s_{mach} \quad (MJ/mech \text{ rad}) \quad (2.11)$$

Dengan mensubtitusikan M pada persamaan (2.8) maka akan didapatkan :

$$\frac{2H}{\omega_{sm}} \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{P_a}{s_{mach}} = \frac{P_m - P_e}{s_{mach}} \quad (2.12)$$

Karena δ_m pada persamaan (2.12) memiliki satuan mechanical radian dan ω_{sm} dalam satuan *mechanical radian per second*. Maka persamaan dapat ditulis menjadi :

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (Per Unit) \quad (2.13)$$

Dengan $\omega_s = 2\pi f$, maka persamaan (2.13) dapat diubah menjadi :

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (2.14)$$

Saat δ diubah dalam electrical radians,

$$\frac{H}{180f} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (2.14)$$

Persamaan (2.13) menjelaskan persamaan ayunan mesin sebagai persamaan dasar yang mengatur dinamika rotasi pada mesin sinkron pada studi kestabilan.

2.5 Critical Clearing Time

Critical Clearing Time (CCT) merupakan batas waktu yang dapat diijinkan oleh sistem untuk menghilangkan gangguan agar sistem mampu kembali stabil setelah terjadi gangguan[5]. Jika suatu sistem melakukan penghilangan gangguannya melewati batas dari CCT maka akan mengakibatkan beberapa generator lepas sinkron sehingga sistem tidak mampu menjadi kembali stabil seperti sebelum gangguan. Dengan adanya batas dari CCT dapat mencegah terjadinya kerusakan terhadap generator. Salah satu kerusakan yang dapat timbul ketika gangguan dihilangkan melebihi batas CCT yaitu patahnya rotor generator.

2.6 Time Domain Simulation

Time Domain Simulation merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghitung *Transient Stability Assesment*. Dalam metode ini dilakukan perhitungan menggunakan teknik integral seperti trapezoidal dan range kutta untuk menyelesaikan persamaan diferensial [11]. *Time Domain Simulation* telah ada sejak puluhan tahun yang lalu dan saat ini digunakan untuk perhitungan software system tenaga seperti Electrical Analyzer Program (ETAP), Dynamic Simulation Analysis (DSA), Easy Power dan sebagainya.

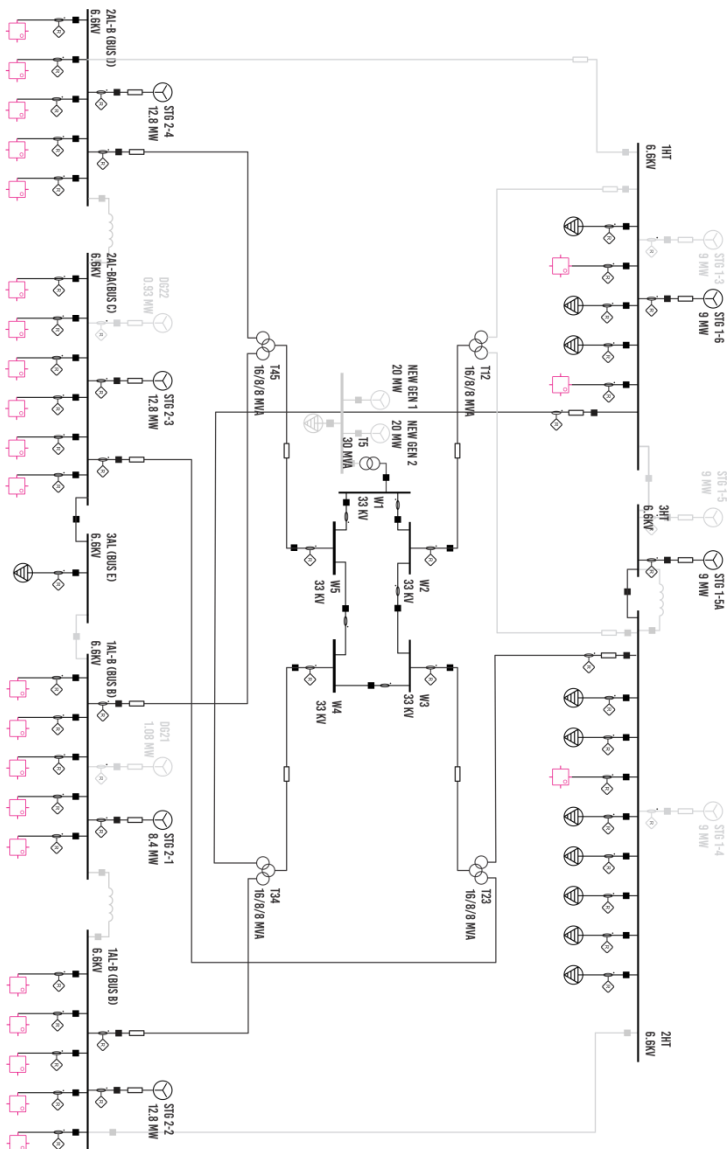
BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

3.1 Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

PT Pertamina adalah salah satu perusahaan yang menangani tentang pengelolaan minyak dan gas bumi di Indonesia. Memiliki 6 unit kilang minyak yang tersebar diseluruh Indonesia dengan kapasitas sekitar 1.046,70 Ribu Barrel. PT Pertamina RU V Balikpapan merupakan salah satu unit kilang PT Pertamina terbesar kedua setelah PT Pertamina RU IV Cilacap. Dengan besarnya peran dari PT Pertamina RU V Balikpapan untuk pemenuhan pasokan minyak dan gas bumi di Indonesia maka perlu dijaga kontinuitas sistem kelistrikannya.

Saat ini PT Pertamina RU V Balikpapan disuplai oleh enam generator tenaga uap (*Steam Turbine Generator*) yang bekerja dari 13 generator yang ada pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan. Terbagi atas dua *Power Plant* yaitu *Power Plant 1* dan *Power Plant 2*. Dua unit generator yang bekerja pada *Power Plant 1* yaitu STG 1-6 dan STG 1-5A. Kemudian pada *Power Plant 2* terdapat 4 unit generator yang bekerja yaitu : STG 2-4, STG 2-3, STG 2-1 dan STG 2-2. Sistem distribusi yang ada memiliki tiga level tegangan (33 kV, 6.6kV dan 0.38kV) yang memiliki peranannya masing-masing. Untuk level tegangan 33kV berfungsi untuk menjaga keandalan sistem yang terhubung pada sistem distribusi ring. Kemudian untuk level tegangan 6.6kV digunakan untuk mendistribusikan beban berkapasitas besar seperti generator dan motor dengan kapasitas besar. Sedangkan untuk level tegangan 0.38kV berfungsi untuk mendistribusikan beban statis dan beban yang berkapasitas kecil. Saat ini sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan sudah dimodelkan menggunakan *Single Line Diagram* yang dapat mempermudah pemahaman skema rangkaian peralatan dan transfer daya masuk dan keluar pada sistem kelistrikan tersebut. *Single Line Diagram* sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan yang ada digambarkan seperti **Gambar 3.1** :



Gambar 3.1 Gambar *Single Line Diagram* sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

3.1.1 Data Pembangkitan, Pembebanan dan Demand Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Data total kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan seperti pembangkitan, pembebanan dan Demand dapat dilihat pada **Tabel 3.1** :

Tabel 3.1 Jumlah total pembangkitan, pembebanan dan Demand PT Pertamina RU V Balikpapan

Keterangan	MVA	MW	MVAR	%PF
Source (Swing Bus)	6.137	1.375	5.981	22.40 lag
Source (Non Swing Bus)	40.499	36.100	18.356	89.14 lag
Total Demand	44.684	37.475	24.337	83.87 lag
Total Motor Load	39.231	33.372	20.624	85.07 lag
Total Static Load	4.608	3.809	2.593	82.66 lag
Apparent Losses		0.294	1.120	

3.1.2 Data Kapasitas Pembangkitan Pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Tiap generator sinkron yang terhubung pada system PT Pertamina RU V Balikpapan memiliki kapasitasnya masing-masing yang dapat dilihat pada **Tabel 3.2** :

Tabel 3.2 Data kapasitas seluruh generator pada sistem PT Pertamina RU V Balikpapan

No	Generator ID	Tegangan (kV)	Kapasitas (MW)
1	STG 1-6	6.6	9
2	STG 1-5A	6.6	11.25
3	STG 2-4	6.6	15
4	STG 2-3	6.6	15
5	STG 2-1	6.6	11.25
6	STG 2-2	6.6	15
7	DG21	6.6	1.35

8	DG22	6.6	1.2
9	STG 1-3	6.6	9.375
10	STG 1-4	6.6	11.25
11	STG 1-5	6.6	11.25
12	NEW GEN 1	6.6	17.647
13	NEW GEN 2	6.6	17.647

3.1.3 Data Transformator pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Pada PT Pertamina RU V Balikpapan terdapat empat unit tie-transformator yang menghubungkan antar generator pada sistem distribusi ring. Tiap kapasitas *Tie-Transformator* dapat dilihat pada **Tabel 3.3** :

Tabel 3.3 Data kapasitas *Tie-Transformator* pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

No	ID	MVA	kV	Hubungan
1	T12	16	33/6.6/6.6	wye/delta/delta
2	T23	16	33/6.6/6.6	wye/delta/delta
3	T34	16	33/6.6/6.6	wye/delta/delta
4	T45	16	33/6.6/6.6	wye/delta/delta

Selain *Tie-Transformator* Pada PT Pertamina RU V Balikpapan beberapa transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 6.6kV menuju 0.38 kV untuk digunakan pada beban berkapasitas kecil atau beban statis. Data kapasitas transformator dapat dilihat pada **Tabel 3.4** :

Tabel 3.4 Data kapasitas transformator pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

No	ID	MVA	kV	Hubungan
1	HSTR1	1	6.6/0.4	delta/wye
2	HSTR2	1	6.6/0.4	delta/wye
3	HSTR3	1	6.6/0.4	delta/wye
4	TR61A	1.6	6.6/0.4	delta/wye
5	TR61B	1.6	6.6/0.4	delta/wye

6	TR61C	1	6.6/0.4	delta/wye
7	TR61D	1	6.6/0.4	delta/wye
8	TR61E	1	6.6/0.4	delta/wye
9	TR61F	1	6.6/0.4	delta/wye
10	TR62A	1.6	6.6/0.4	delta/wye
11	TR62B	1.6	6.6/0.4	delta/wye
12	TR63A	1.6	6.6/0.4	delta/wye
13	TR63B	1.6	6.6/0.4	delta/wye
14	TR64A	1	6.6/0.4	delta/wye
15	TR64B	1	6.6/0.4	delta/wye
16	TR65A	1	6.6/0.4	delta/wye
17	TR65B	1	6.6/0.4	delta/wye
18	TR66A	1.6	6.6/0.4	delta/wye
19	TR66B	1.6	6.6/0.4	delta/wye
20	TR67A	1.6	6.6/0.4	delta/wye
21	TR67B	1.6	6.6/0.4	delta/wye
22	TR68A	1	6.6/0.4	delta/wye
23	TR68B	1	6.6/0.4	delta/wye

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS DATA

Pada bab keempat ini akan dilakukan pemaparan simulasi dan analisis data pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan yang sudah di modelkan dalam *Single Line Diagram* pada *software* program ETAP 12.6. PT Pertamina RU V Balikpapan beroperasi dengan enam unit generator sinkron yang terhubung pada topologi jaringan ring.

Beberapa langkah yang akan dilakukan dalam analisis dari simulasi untuk penentuan evaluasi pengaturan waktu rele pengaman pada PT Pertamina RU V Balikpapan yaitu :

- i. Menjalankan menu *Transient* pada *software* ETAP 12.6 dengan *event* gangguan hubung singkat tiga fasa pada setiap bus yang dipilih pada detik $t=1s$.
- ii. Menentukan waktu CCT pada bus yang terjadi gangguan dengan memperhatikan respon sudut rotor generator.
- iii. Membandingkan hasil CCT tiap bus dengan pengaturan waktu rele pengaman PT Pertamina RU V Balikpapan yang telah diatur ulang menurut referensi Tugas Akhir milik Eko Purwanto [2]
- iv. Menganalisis bus mana saja yang pengaturan waktunya masih melebihi range CCT.
- v. Melakukan perbaikan pengaturan waktu rele saat pengaturan waktu melebihi CCT atau dengan mempertimbangkan *Transient Stability Assessment*.
- vi. Melakukan pengecekan pengaturan waktu rele setelah mempertimbangkan *Transient Stability Assessment*, jika tidak ada pengaturan waktu rele diatas range CCT maka PT Pertamina RU V Balikpapan telah dikatakan handal dan stabil.

4.1 Studi Kasus *Transient Stability Assessment*

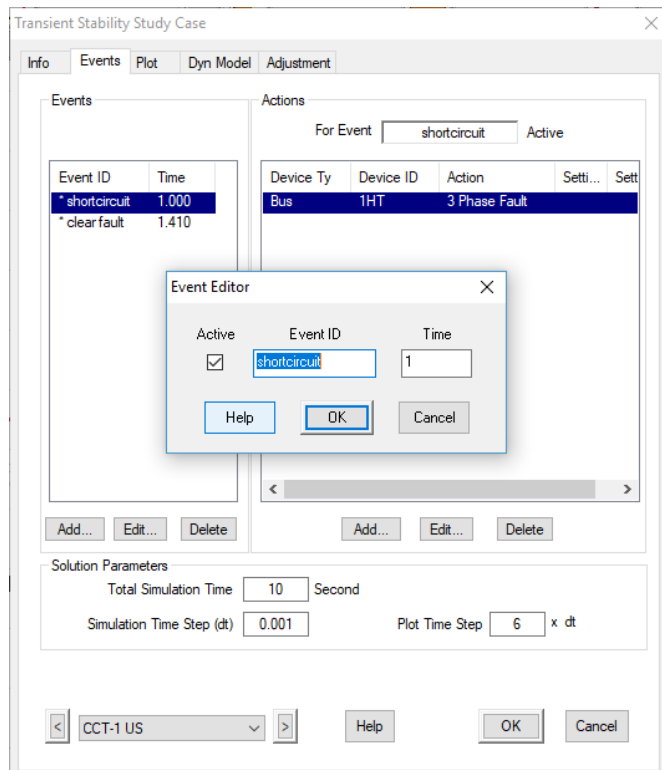
Analisis pada simulasi ini akan dilakukan dengan mempertimbangkan respon generator yang tersambung pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan. Salah satu respon yang perlu diperhatikan dalam studi kasus ini yaitu CCT. Dimana CCT

dapat dianalisa melalui respon satbil dan tidaknya melalui sudut rotor tiap generator.

Gangguan hubung singkat yang digunakan dalam anailsis ini terjadi pada bus :

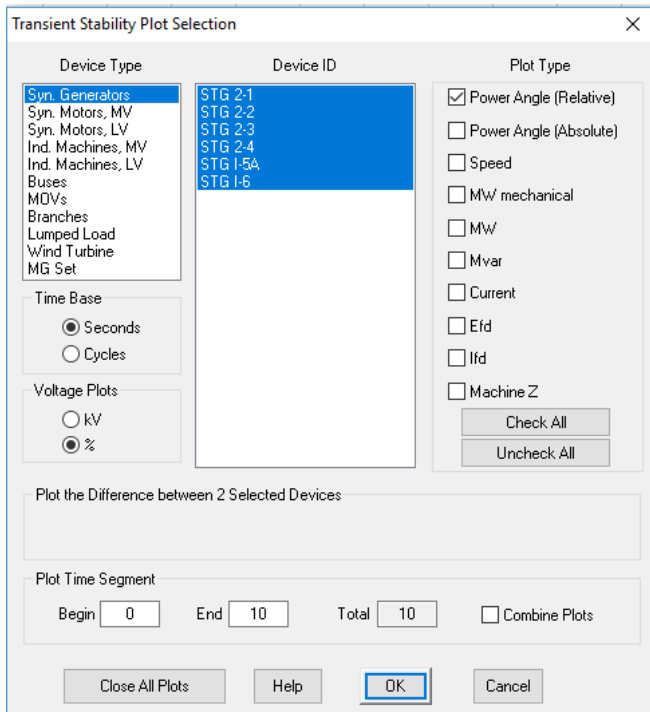
- i. **Bus 1HT:** memiliki level tegangan 6.6kV yang berada dibawah generator STG 1-6.
- ii. **Bus 3HT:** memiliki level tegangan 6.6kV yang berada dibawah generator STG 1-5A.
- iii. **Bus 2AL-B:** memiliki level tegangan 6.6kV yang berada dibawah generator STG 2-4.
- iv. **Bus 2AL-A:** memiliki level tegangan 6.6kV yang berada dibawah generator STG 2-3.
- v. **Bus 1AL-B:** memiliki level tegangan 6.6kV yang berada dibawah generator STG 2-1.
- vi. **Bus 1AL-A:** memiliki level tegangan 6.6kV yang berada dibawah generator STG 2-2.
- vii. **Bus W1:** memiliki level tegangan 33kV dengan topologi jaringan ring.
- viii. **Bus W2:** memiliki level tegangan 33kV dengan topologi jaringan ring.
- ix. **Bus W3:** memiliki level tegangan 33kV dengan topologi jaringan ring.
- x. **Bus W4:** memiliki level tegangan 33kV dengan topologi jaringan ring.
- xi. **Bus W5:** memiliki level tegangan 33kV dengan topologi jaringan ring.

Dalam studi kasus pada menu *Transient* menggunakan *software* ETAP 12.6 akan diberikan gangguan berupa "3 Phase Fault" atau gangguan hubung singkat tiga fasa. Penggunaan gangguan tiga fasa bertujuan untuk merepresentasikan kerusakan terbesar yang mungkin terjadi pada sistem saat terjadi gangguan hubung singkat. Untuk mempermudah pengamatan respon sudut rotor sebelum dan sesudah terjadi gangguan maka simulasi gangguan dilakukan pada detik $t=1s$. Berikut contoh studi kasus *Transient* yang ada pada *software* ETAP 12.6 yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**



Gambar 4.1 Contoh *Transient Study Case* pada software ETAP 12.6

Setelah menentukan studi kasus, maka langkah selanjutnya yaitu menjalankan simulasi transient dan menampilkan plot respon sudut rotor pada beberapa generator menggunakan *Transient Stability Plot Selection* dan pilih "Power Angle (Relative)" pada *Plot Type* seperti pada **Gambar 4.2**. Kemudian dari respon yang ada dilakukan pengamatan keadaan stabil dan tidak stabil untuk menentukan CCT pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan.



Gambar 4.2 *Transient Stability Plot Selection* pada software ETAP 12.6

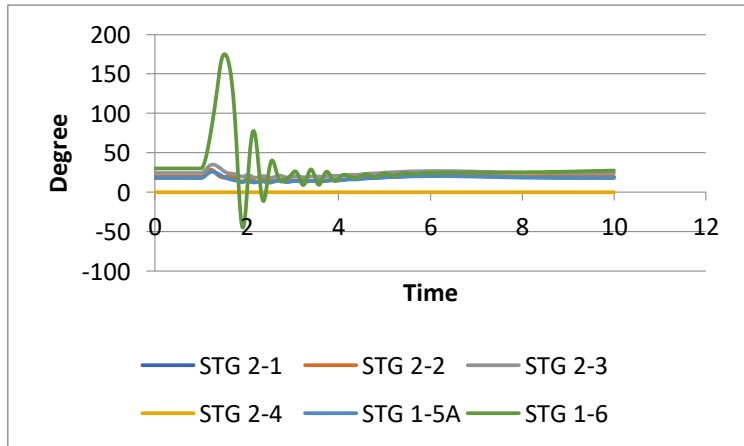
4.2 Penentuan *Critical Clearing Time (CCT)* Pada Tiap Gangguan di Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan

Di sub-bab ini akan ditampilkan analisis CCT pada tiap bus tempat gangguan terjadi menggunakan *software* ETAP 12.6. Untuk mendapatkan waktu stabil dan tidak stabil digunakan cara *trial and error*[12]. Setelah itu akan didapatkan CCT berupa range waktu stabil dan tidak stabilnya. Digunakan event “*Clear Fault*” pada *software* ETAP 12.6 dengan memepertimbangkan penghilangan gangguan tanpa memutuskan rangkaian. Sehingga untuk kestabilan dan sinkronisasi antar generator masih dapat diamati perubahan respon sudut rotor generator. Pada studi kasus ini akan ditampilkan respon

sudut rotor pada tiap generator saat terjadi gangguan menggunakan metode *Time Domain Simulation*.

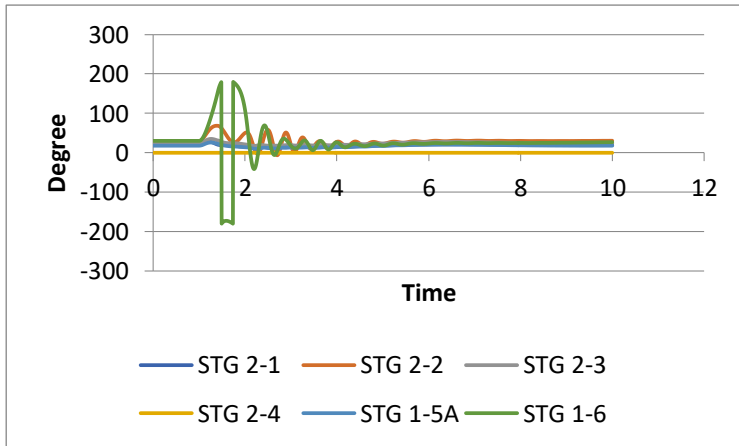
4.2.1 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 1HT 6.6kV (t=1s)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 1HT pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,40s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus 1HT adalah 0,41s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.3 Respon sudut rotor pada bus 1HT saat gangguan dihilangkan di waktu 0,40s

Dapat diamati dari **Gambar 4.3** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,40s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 1-6 ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (175.08°) setelah gangguan terjadi.

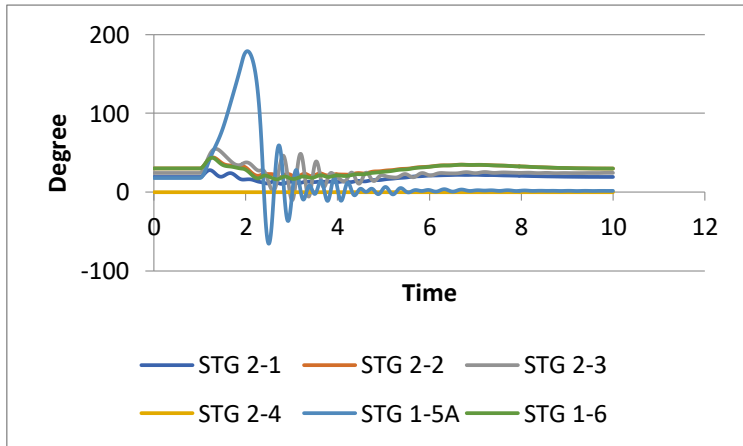


Gambar 4.4 Respon sudut rotor pada bus 1HT saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,41s maka respon generator STG 1-6 akan kehilangan sinkronnya dengan respon sudut rotor sebesar (179.2°) kemudian berubah menjadi (-179.73°) dalam waktu yang singkat. Perbedaan sudut rotor yang cukup besar akan mengakibatkan generator mengalami *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.4**.

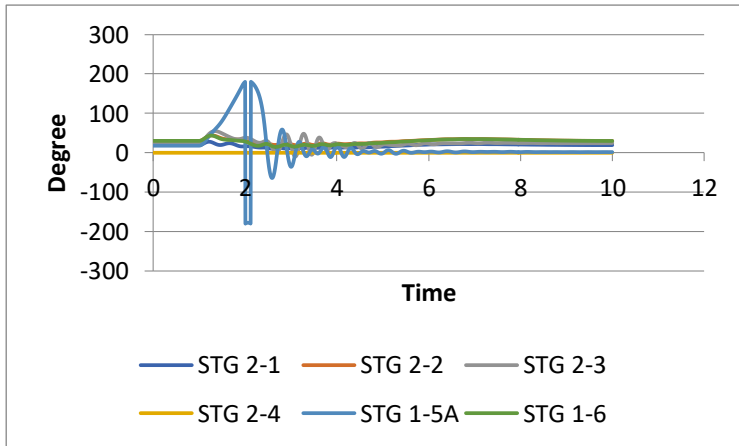
4.2.2 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 3HT 6.6kV ($t=1s$)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 3HT pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,93s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus 3HT adalah 0,94s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.5 Respon sudut rotor pada bus 3HT saat gangguan dihilangkan di waktu 0,93s

Dapat diamati dari **Gambar 4.5** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,93s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 1-5A ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (178.78°) setelah gangguan terjadi.

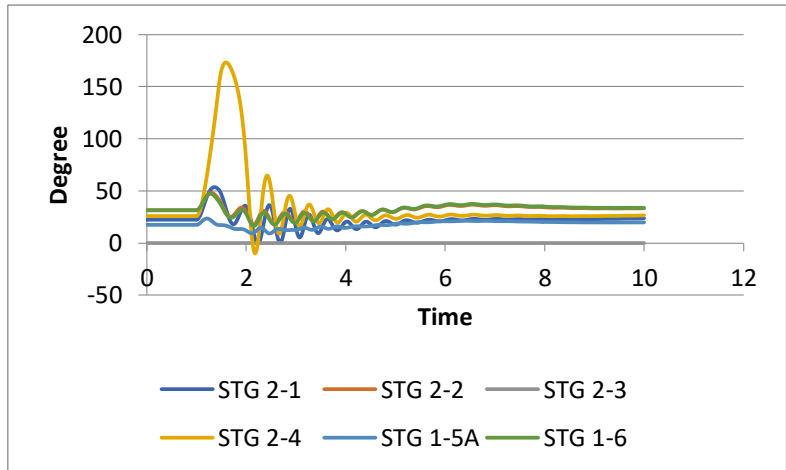


Gambar 4.6 Respon sudut rotor pada bus 3HT saat gangguan dihilangkan di waktu 0,94

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,94s maka respon generator STG 1-5A akan kehilangan sinkronnya dengan respon sudut rotor sebesar (179.78°) kemudian berubah menjadi (-179.69°) dalam waktu yang singkat. Perbedaan sudut rotor yang cukup besar akan mengakibatkan generator mengalami *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.6**.

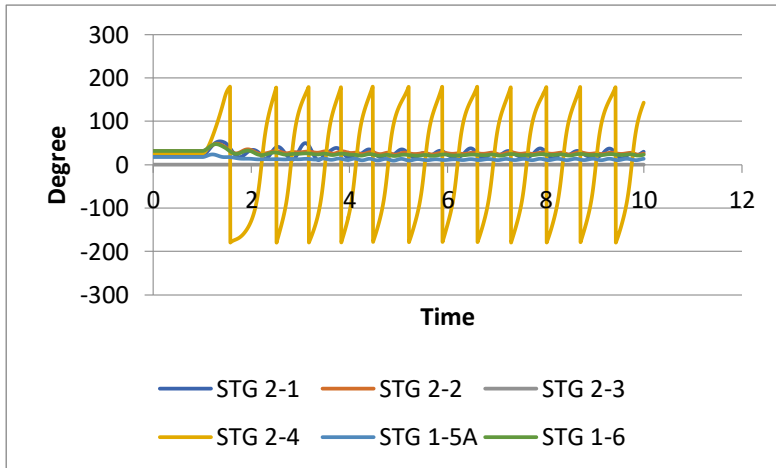
4.2.3 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 2AL-B 6.6kV ($t=1s$)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 2AL-B pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,44s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus 2AL-B adalah 0,45s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.7 Respon sudut rotor pada bus 2AL-B saat gangguan dihilangkan di waktu 0,44s

Dapat diamati dari **Gambar 4.7** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,44s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 2-4 ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar 173.18° setelah gangguan terjadi.

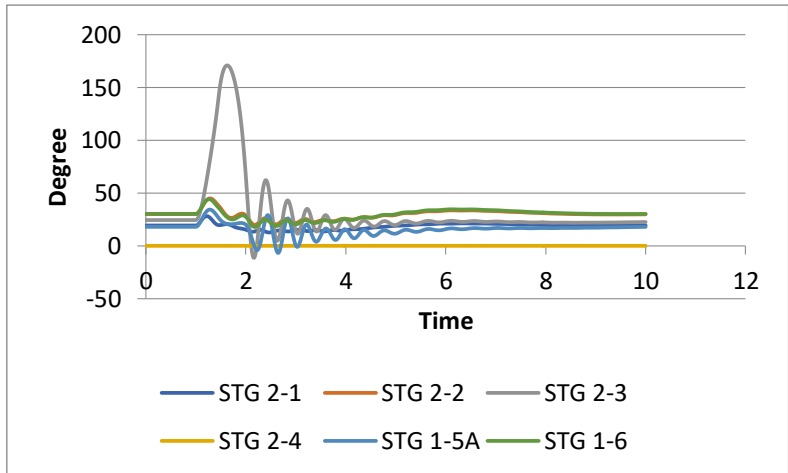


Gambar 4.8 Respon sudut rotor pada bus 2AL-B saat gangguan dihilangkan di waktu 0,45s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,45s maka respon generator STG 2-4 akan kehilangan sinkronnya dengan respon sudut rotor sebesar (179.75°) kemudian berubah menjadi (-179.6°) dalam waktu yang singkat. Perbedaan sudut rotor yang cukup besar akan mengakibatkan generator mengalami *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.8**.

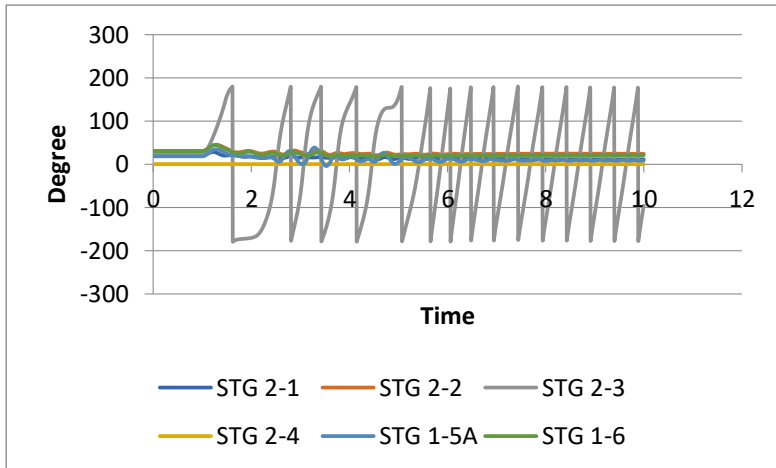
4.2.4 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 2AL-A 6.6kV (t=1s)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 2AL-A pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,46s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus 2AL-A adalah 0,47s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.9 Respon sudut rotor pada bus 2AL-A saat gangguan dihilangkan di waktu 0,46s

Dapat diamati dari **Gambar 4.9** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,46s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 2-3 ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (170.69°) setelah gangguan terjadi.

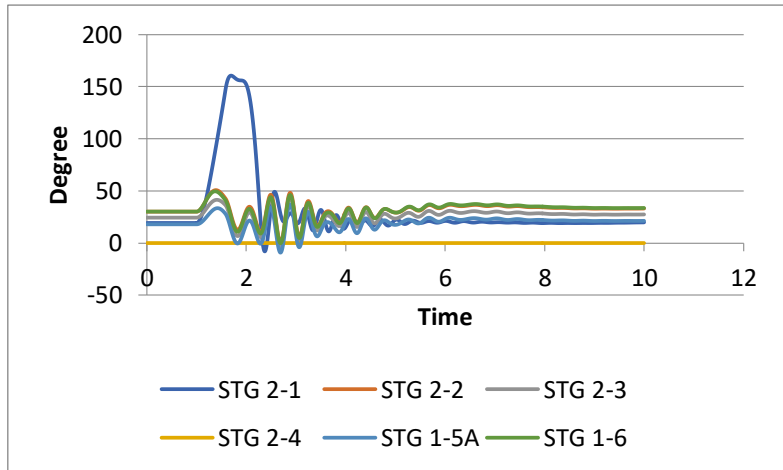


Gambar 4.10 Respon sudut rotor pada bus 2AL-A saat gangguan dihilangkan di waktu 0,47s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,47s maka respon generator STG 2-3 akan kehilangan sinkronnya dengan respon sudut rotor sebesar (179.52°) kemudian berubah menjadi (-179.89°) dalam waktu yang singkat. Perbedaan sudut rotor yang cukup besar akan mengakibatkan generator mengalami *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.10**.

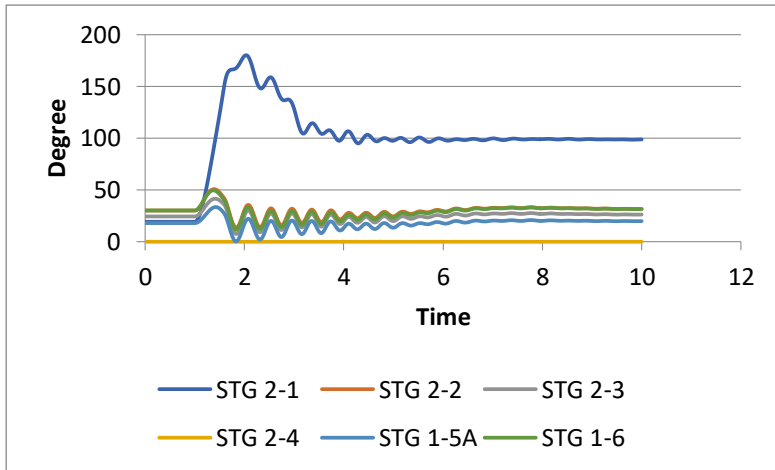
4.2.5 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 1AL-B 6.6kV ($t=1s$)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 1AL-B pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,58s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus 1AL-B adalah 0,59s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.11 Respon sudut rotor pada bus 1AL-B saat gangguan dihilangkan di waktu 0,58s

Dapat diamati dari **Gambar 4.11** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,58s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 2-1 ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (160.5°) setelah gangguan terjadi.

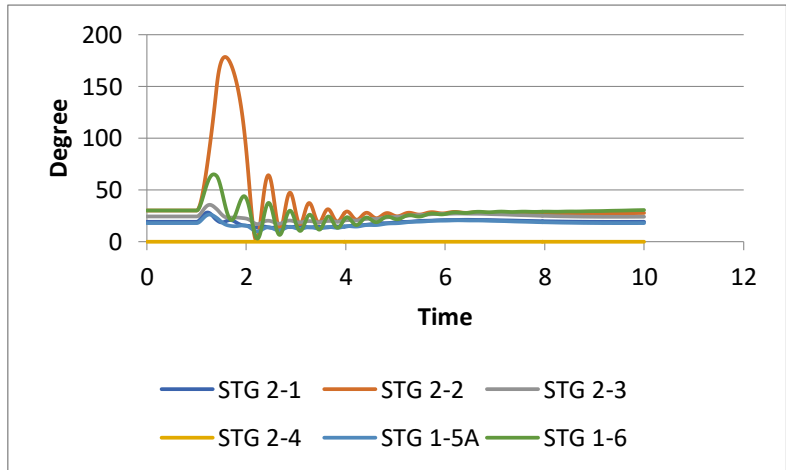


Gambar 4.12 Respon sudut rotor pada bus 1AL-B saat gangguan dihilangkan di waktu 0,59s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,59s maka respon generator STG 2-1 akan kehilangan sinkronnya dengan respon sudut rotor sebesar (176.5°) kemudian menjadi steady namun sudah tidak sinkron dengan generator lainnya seperti **Gambar 4.12**.

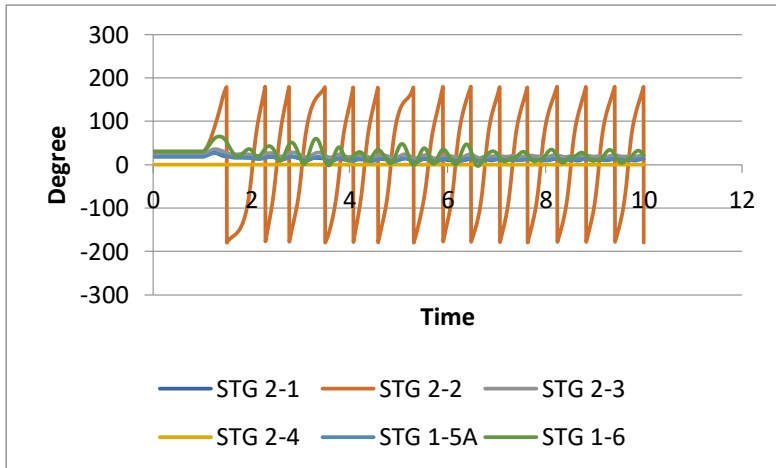
4.2.6 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus 1AL-A 6.6kV (t=1s)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus 1AL-A pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,40s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus 1AL-A adalah 0,41s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.13 Respon sudut rotor pada bus 1AL-A saat gangguan dihilangkan di waktu 0,40s

Dapat diamati dari **Gambar 4.13** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,40s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 2-2 ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (178.27°) setelah gangguan terjadi.

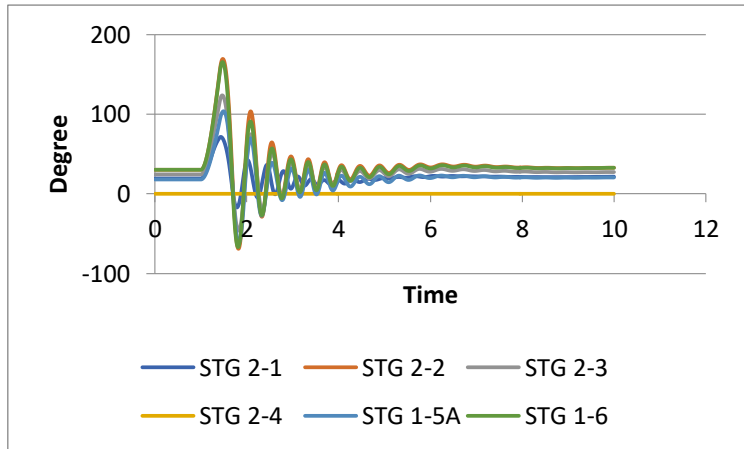


Gambar 4.14 Respon sudut rotor pada bus 1AL-A saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,41s maka respon generator STG 2-2 akan kehilangan sinkronnya dengan respon sudut rotor sebesar (178.98°) kemudian berubah menjadi (-179.86°) dalam waktu yang singkat. Perbedaan sudut rotor yang cukup besar akan mengakibatkan generator mengalami *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.14**.

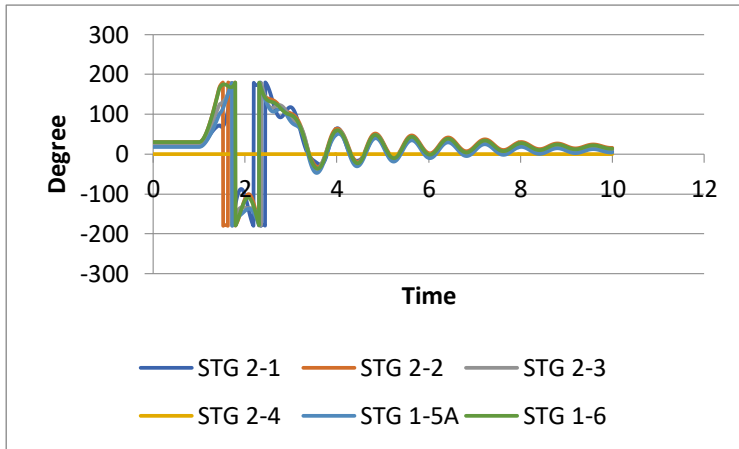
4.2.7 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W1 33kV (t=1s)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus W1 pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,41s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus W1 adalah 0,42s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.15 Respon sudut rotor pada bus W1 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s

Dapat diamati dari **Gambar 4.15** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,41s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 2-2 akan memiliki nilai sudut rotor paling besar dari pada generator lainnya. Sehingga ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (168.78°) setelah gangguan terjadi.

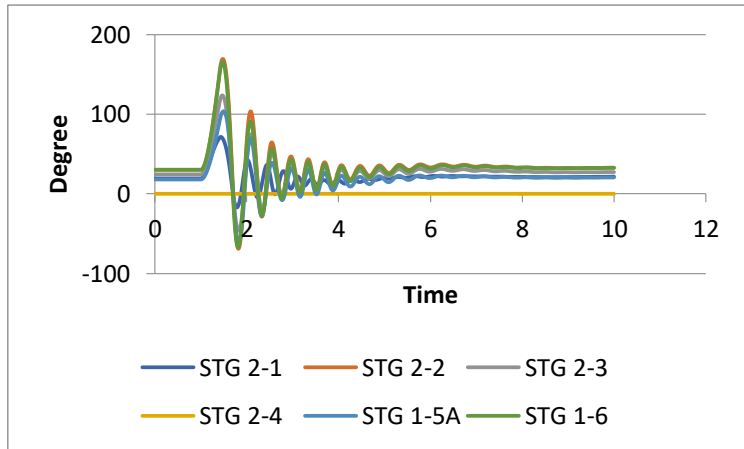


Gambar 4.16 Respon sudut rotor pada bus W1 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,42s maka respon seluruh generator akan kehilangan sinkronnya. Jika dilihat dari generator STG 2-2 yang memiliki perubahan sudut rotor paling besar pada waktu 0.41s sebelumnya maka pada waktu 0.42s akan mengalami perubahan dari (179.6°) kemudian berubah menjadi (-179.89°) yang menandakan bahwa generator tersebut *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.16**.

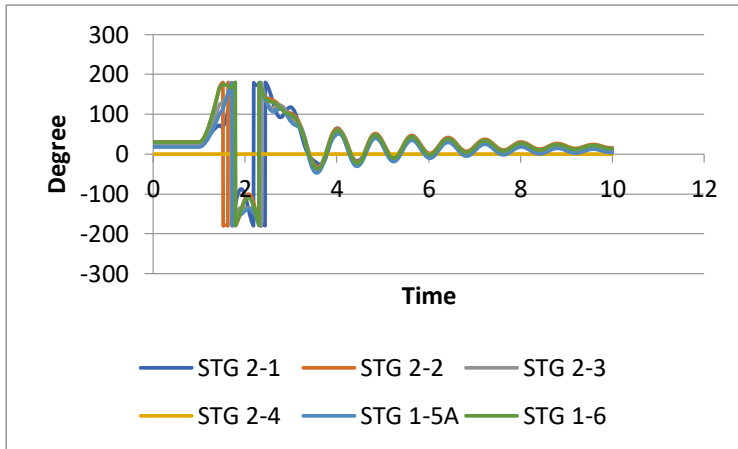
4.2.8 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W2 33kV ($t=1s$)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus W2 pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,41s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus W2 adalah 0,42s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.17 Respon sudut rotor pada bus W2 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s

Dapat diamati dari **Gambar 4.17** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,41s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 2-2 akan memiliki nilai sudut rotor paling besar dari pada generator lainnya. Sehingga ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (168.78°) setelah gangguan terjadi.

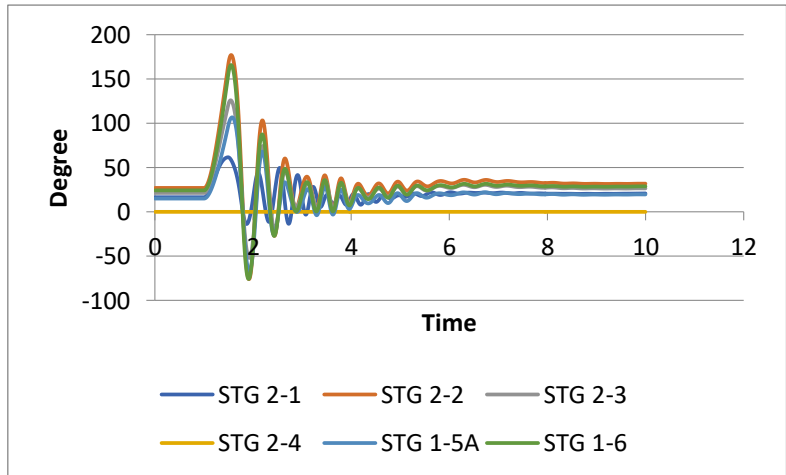


Gambar 4.18 Respon sudut rotor pada bus W2 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,42s maka respon seluruh generator akan kehilangan sinkronnya. Jika dilihat dari generator STG 2-2 yang memiliki perubahan sudut rotor paling besar pada waktu 0.41s sebelumnya maka pada waktu 0.42s akan mengalami perubahan dari (179.6°) kemudian berubah menjadi (-179.89°) yang menandakan bahwa generator tersebut *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.18**.

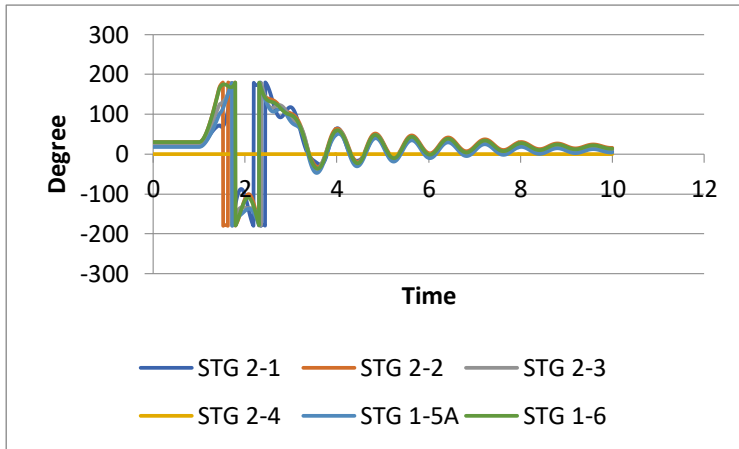
4.2.9 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W3 33kV ($t=1s$)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus W3 pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,41s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus W3 adalah 0,42s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.19 Respon sudut rotor pada bus W3 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s

Dapat diamati dari **Gambar 4.19** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,41s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 2-2 akan memiliki nilai sudut rotor paling besar dari pada generator lainnya. Sehingga ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (168.78°) setelah gangguan terjadi.

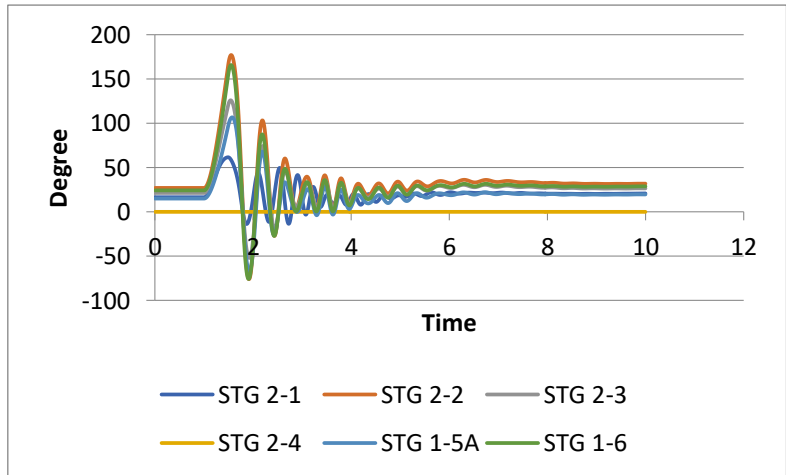


Gambar 4.20 Respon sudut rotor pada bus W3 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,42s maka respon seluruh generator akan kehilangan sinkronnya. Jika dilihat dari generator STG 2-2 yang memiliki perubahan sudut rotor paling besar pada waktu 0.41s sebelumnya maka pada waktu 0.42s akan mengalami perubahan dari (179.6°) kemudian berubah menjadi (-179.89°) yang menandakan bahwa generator tersebut *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.20**.

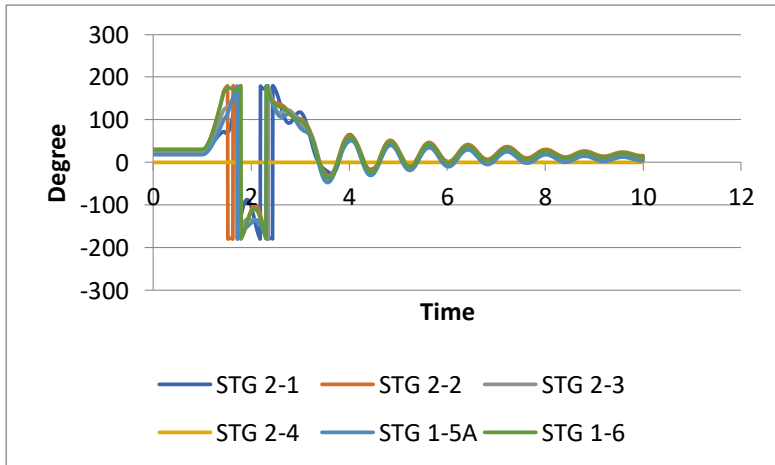
4.2.10 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W4 33kV ($t=1s$)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus W4 pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,41s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus W4 adalah 0,42s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.21 Respon sudut rotor pada bus W4 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s

Dapat diamati dari **Gambar 4.21** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,41s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 2-2 akan memiliki nilai sudut rotor paling besar dari pada generator lainnya. Sehingga ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (168.78°) setelah gangguan terjadi.

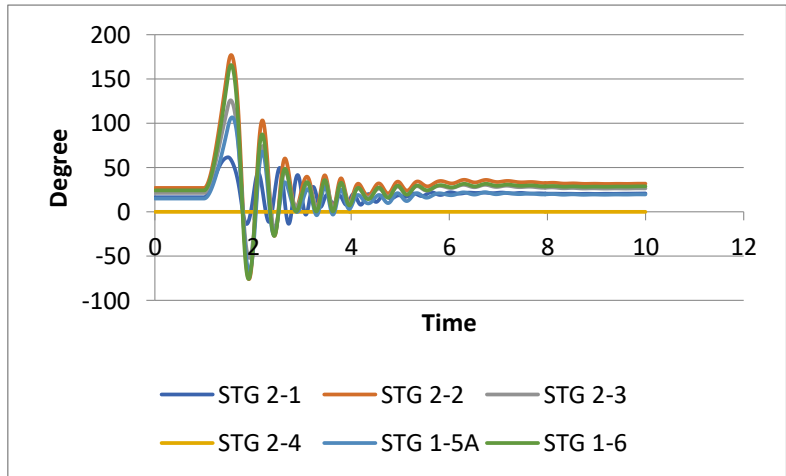


Gambar 4.22 Respon sudut rotor pada bus W4 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,42s maka respon seluruh generator akan kehilangan sinkronnya. Jika dilihat dari generator STG 2-2 yang memiliki perubahan sudut rotor paling besar pada waktu 0.41s sebelumnya maka pada waktu 0.42s akan mengalami perubahan dari (179.6°) kemudian berubah menjadi (-179.89°) yang menandakan bahwa generator tersebut *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.22**.

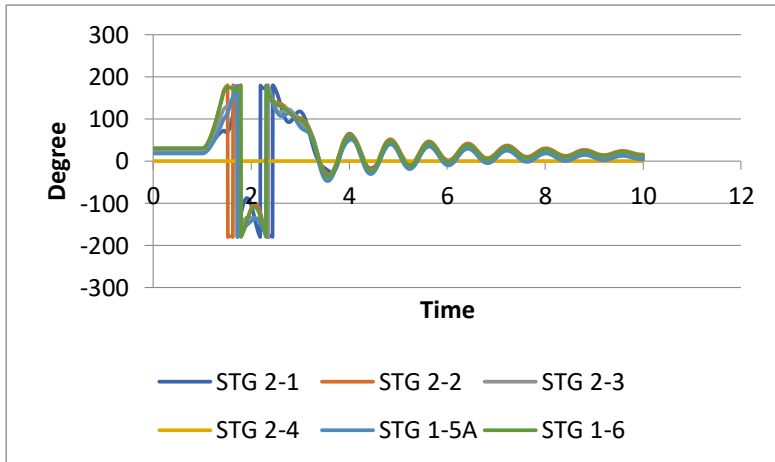
4.2.11 Studi Kasus Hubung Singkat Pada Bus W5 33kV (t=1s)

Disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus W5 pada 1 detik setelah simulasi dimulai. Saat gangguan terjadi didapatkan waktu penghilangan gangguan pada kondisi stabil adalah 0,41s, sedangkan waktu penghilangan gangguan tidak stabil pada bus W5 adalah 0,42s. Berikut gambar grafik sudut rotor generator yang telah diplot saat kondisi stabil dan kondisi tidak stabil.



Gambar 4.23 Respon sudut rotor pada bus W5 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,41s

Dapat diamati dari **Gambar 4.23** jika gangguan dihilangkan pada keadaan stabilnya yaitu 0,41s maka respon tiap generator dengan sistem akan kembali menuju keadaan stabilnya. Jika di lihat lebih lanjut maka respon pada generator STG 2-2 akan memiliki nilai sudut rotor paling besar dari pada generator lainnya. Sehingga ketika gangguan terjadi pada batas kritisnya akan mengakibatkan pergeseran sudut rotor sebesar (168.78°) setelah gangguan terjadi.



Gambar 4.24 Respon sudut rotor pada bus W5 saat gangguan dihilangkan di waktu 0,42s

Kemudian jika gangguan dihilangkan pada keadaan tidak stabilnya yaitu 0,42s maka respon seluruh generator akan kehilangan sinkronnya. Jika dilihat dari generator STG 2-2 yang memiliki perubahan sudut rotor paling besar pada waktu 0.41s sebelumnya maka pada waktu 0.42s akan mengalami perubahan dari (179.6°) kemudian berubah menjadi (-179.89°) yang menandakan bahwa generator tersebut *step out* dari sistem seperti **Gambar 4.24**.

4.3 Analisis Hasil CCT dengan Pengaturan Waktu Sebelum Mempertimbangkan *Transienst Stability Assessment*

Setelah mencari range waktu stabil dan tidak stabil pada tiap bus gangguan hubung singkat tiga fasa kemudian akan dibandingkan dengan pengautran yang telah ada. Waktu pengaturan yang dibandingkan adalah hasil pengaturan waktu rele pengaman pada PT Pertamina RU V Balikpapan menurut Tugas Akhir Eko Purwanto W. H. dengan judul “Evaluasi Pengaruh *Distributed Generation* (DG) Terhadap Proteksi Sistem Distribusi Menggunakan *Protection Coordination Index* (PCI) di PT Pertamina RU V Balikpapan” [9] dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Pengaturan rele pengaman PT Pertamina RU V Balikpapan menurut referensi [2]

Area	Bus ID	Relay ID	Low Set				High Set			CB Min . Operati on
			Curve	I set	Tap	TDS	I set	Tap	Td	
Power Plant 1	1HT	RNP8A	IEC-Std. Inverse	1000	1	0.325	disable			0.07
		Relay190	IEC-Std. Inverse	750	0.75	0.2	disable			0.08
	3HT	Relay 5	IEC-Std. Inverse	1040	0.867	0.4	3100	2.583	0.9	0.07
		RNP45	IEC-Std. Inverse	750	0.75	0.2	3100	3.1	0.7	0.01
Power Plant 2	2AL-B	R2AL21	IEC-Std. Inverse	1470	0.98	0.475	4800	3.3	0.7	0.01
		R2AL22	IEC-Std. Inverse	750	0.75	0.75	4800	4.8	0.5	0.01
	2AL-A	R2AL05	IEC-Std. Inverse	1470	0.98	0.475	4800	3.2	0.7	0.01
		R2AL01	IEC-Std. Inverse	735	0.735	0.75	4800	4.8	0.5	0.01
	1AL-B	R1AL13	IEC-Std. Inverse	965	0.965	0.4	2688	2.688	0.7	0.01
		R1AL21	IEC-Std. Inverse	735	0.735	0.325	2600	2.6	0.5	0.01
	1AL-A	R1AL02	IEC-Std. Inverse	1470	0.98	0.475	4800	3.2	0.7	0.01
		R1AL00	IEC-Very Inverse	750	0.75	0.75	4800	4.8	0.5	0.01

Kemudian akan dibandingkan waktu pengaturan sistem PT Pertamina RU V Balikpapan dengan hasil CCT yang telah didapatkan. Waktu penghilangan gangguan yang diamati yaitu waktu rele pengaman arus lebih pada saat *sensing* gangguan dengan tambahan waktu minimal operasi *Circuit Breaker*. Perbandingan

waktu penghilangan gangguan PT Pertamina RU V Balikpapan sebelum mempertimbangkan *Transient Stability Assessment* dengan nilai CCT akan ditunjukkan pada **Tabel 4.2**.

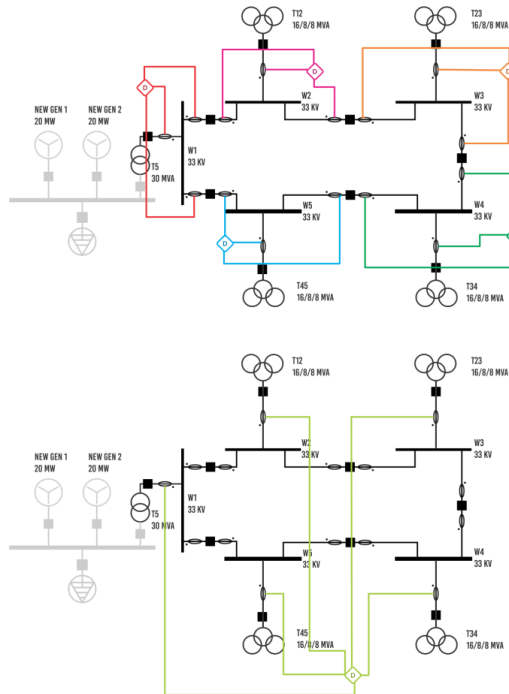
Tabel 4.2 Perbandingan waktu waktu penghilangan gangguan bus dibawah generator sebelum memperhatikan *Transient Stability Assessment* dengan nilai CCT

No	Bus ID	Waktu Penghilangan Gangguan	Hasil CCT	Status
1	1HT	0.59	0.41-0.42	PERLU REKOMENDASI
2	3HT	0.71	0.93-0.94	AMAN
3	2AL-B	0.51	0.44-0.45	PERLU REKOMENDASI
4	2AL-A	0.51	0.46-0.47	PERLU REKOMENDASI
5	1AL-B	0.51	0.58-0.59	AMAN
6	1AL-A	0.51	0.40-0.41	PERLU REKOMENDASI

Dari **Tabel 4.2** dapat diamati bahwa masih terdapat beberapa waktu pengaturan rele pengaman yang berada diatas batas CCT. Lepasnya generator yang melebihi batas CCT akan membuat generator hilang sinkron, terlebih lagi akan membuat rotor generator patah. Dari alasan tersebut maka perlu adanya perbaikan pengaturan waktu rele pengaman pada PT Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan *Transient Stability Assessment*.

Selanjutnya pada kasus kedua akan diamati gangguan pada bus ring sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan. Menurut Jurnal Teknik Pomits Vol. 2 No. 1 (2004) milik Wildan Imanur Rahman berjudul “Setting Rele Diferensial Bus High Impedance pada Sistem Distribusi Ring 33kV di PT. Pertamina RU V Balikpapan” [10] rele yang digunakan pada bus ring merupakan rele diferensial *Bus Differential Relay* (rele diferensial). Pada rele jenis ini mampu memutuskan gangguan dengan waktu delay hingga 3 cycle atau sekitar 0.06 detik. Total waktu penghilangan gangguan sebesar 0.07 detik dengan waktu operasi minimal *Circuit Breaker* sebesar

0.01 detik. Secara umum cara kerja rele diferensial membandingkan arus masuk dan keluar pada bus gangguan. Penempatan rele diferensial yang ada pada bus ring dapat digambarkan pada **Gambar 4.25**.



Gambar 4.25 Penempatan rele diferensial pada bus ring [10].

Dari penempatan rele diferensial yang ada dapat diambil contoh kasus, saat terjadi gangguan hubung singkat pada bus ring W2 akan membuat rele diferensial bus W2 akan beroperasi dan membuat rele diferensial antarbus ring akan beroperasi sebagai *back up*. Pada **Tabel 4.3** terlihat bahwa status saat terjadi gangguan pada bus ring tersebut masih aman ketika dibandingkan nilai CCT yang telah didapatkan sebelumnya.

Tabel 4.3 Perbandingan waktu penghilangan gangguan pada bus ring sebelum memperhatikan *Transient Stability Assessment* dengan nilai CCT

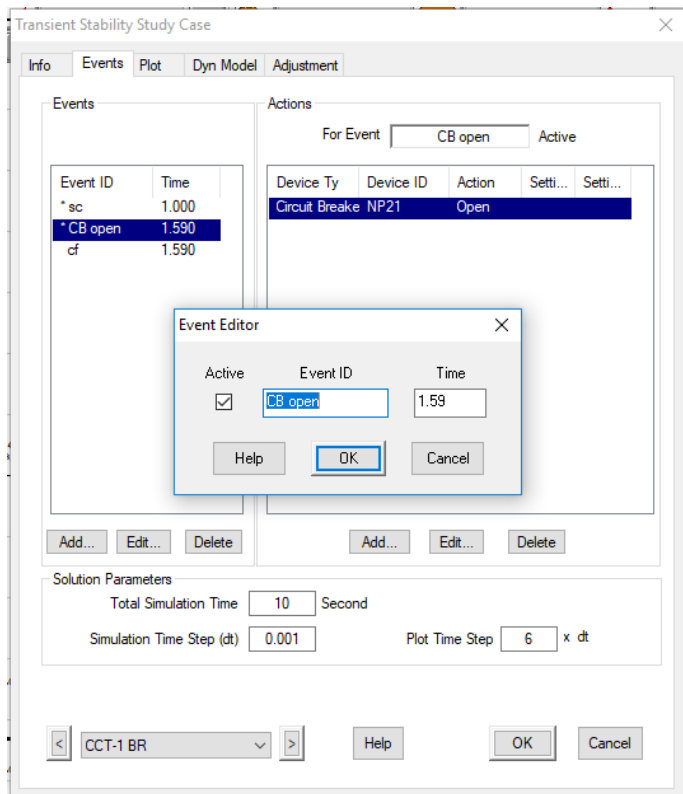
No	Bus ID	Waktu Penghilangan Gangguan	Hasil CCT	Status
1	W1	0.07	0.41-0.42	AMAN
2	W2	0.07	0.41-0.42	AMAN
3	W3	0.07	0.41-0.42	AMAN
4	W4	0.07	0.41-0.42	AMAN
5	W5	0.07	0.41-0.42	AMAN

4.4 Rekomendasi Pengaturan Waktu Rele Pengaman PT Pertamina RU V Balikpapan dengan Mempertimbangkan *Transienst Stability Assessment*

Dengan adanya permasalahan setting waktu rele yang masih melebihi batas CCT maka perlu dilakukan setting ulang agar kerusakan generator dapat diminimalisir. Terdapat pilihan rekomendasi untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada PT Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan *Transient Stability Assessment* yang disarankan oleh penulis. Rekomendasi yang dimaksud berupa penambahan rele bus diferensial untuk mengatasi permasalahan *Transient Stability Assessment*.

Rele pengaman jenis ini telah digunakan dalam bus ring untuk mengamankan bus saat terjadi gangguan hubung singkat. Rele diferensial ini mampu memutuskan gangguan waktu yang cepat dalam range 1 cycle hingga 3 cycle atau sekitar 0.02 hingga 0.06 detik. Waktu perbandingan dengan CCT juga harus memperhatikan waktu operasi *Circuit Breaker* untuk menghilangkan gangguan, dimana tiap *Circuit Breaker* memiliki waktu operasi minimal masing-masing. Alasan digunakan rele diferensial dengan waktu operasi yang cepat yaitu untuk menjaga koordinasi rele saat terjadi gangguan di sisi penyulang. Namun saat terjadi gangguan di bus yang tersambung dengan generator maka gangguan dapat dihilangkan dengan cepat sehingga kerusakan generator dapat

diminimalisir. Dalam pengamatan perbandingan dengan pengaturan waktu yang telah ada akan digunakan *Transient Stability Study Case* dengan event “CB Open” pada software ETAP 12.6 seperti **Gambar 4.26** untuk melihat respon generator saat gangguan dihilangkan menggunakan *Circuit Breaker*.

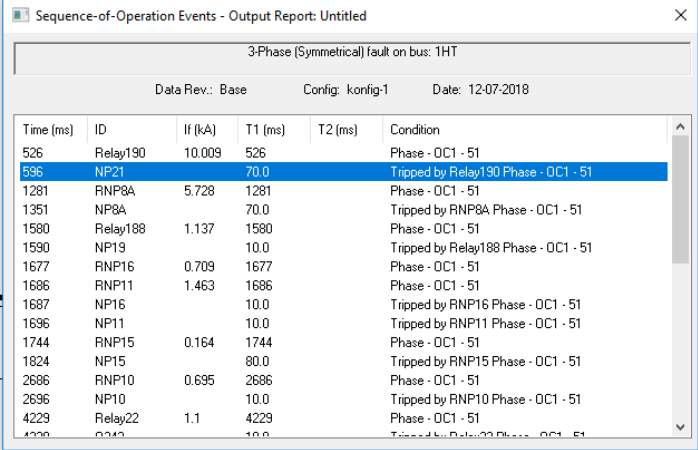


Gambar 4.26 Contoh *Transient Stability Study Case* dengan event “CB Open”

Berikut respon sudut rotor sebelum dan sesudah menggunakan rekomendasi penggunaan bus diferensial pada bus yang memiliki waktu penghilangan gangguan diatas batas CCT ∴

4.4.1 Respon Sudut Rotor Sebelum dan Sesudah Dilakukan Rekomendasi Pada Bus 1HT

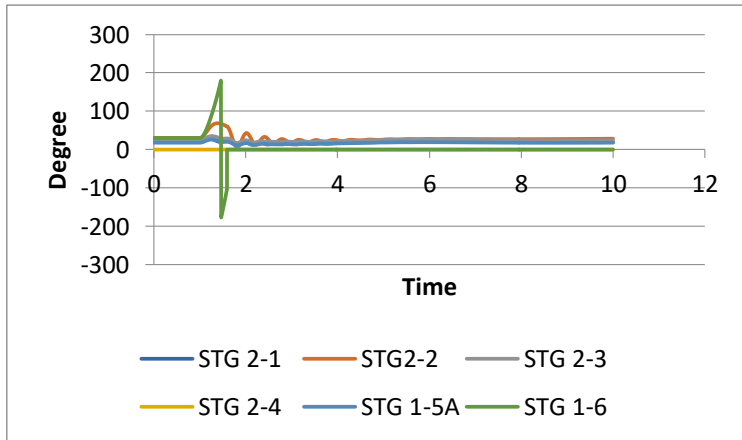
Pada saat bus 1HT mengalami gangguan, maka sistem akan memutuskan gangguan pada waktu 0.59s sesuai dengan *Sequence of Operation Event* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.27**.



3-Phase (Symmetrical) fault on bus: 1HT					
Data Rev.: Base		Config: konfigur-1		Date: 12-07-2018	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
526	Relay190	10.009	526		Phase - OC1 - 51
596	NP21		70.0		Tripped by Relay190 Phase - OC1 - 51
1281	RNP8A	5.728	1281		Phase - OC1 - 51
1351	NP8A		70.0		Tripped by RNP8A Phase - OC1 - 51
1580	Relay188	1.137	1580		Phase - OC1 - 51
1590	NP19		10.0		Tripped by Relay188 Phase - OC1 - 51
1677	RNP16	0.709	1677		Phase - OC1 - 51
1686	RNP11	1.463	1686		Phase - OC1 - 51
1687	NP16		10.0		Tripped by RNP16 Phase - OC1 - 51
1696	NP11		10.0		Tripped by RNP11 Phase - OC1 - 51
1744	RNP15	0.164	1744		Phase - OC1 - 51
1824	NP15		80.0		Tripped by RNP15 Phase - OC1 - 51
2686	RNP10	0.695	2686		Phase - OC1 - 51
2696	NP10		10.0		Tripped by RNP10 Phase - OC1 - 51
4229	Relay22	1.1	4229		Phase - OC1 - 51
4230	NP22		10.0		Tripped by Relay22 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.27 *Sequence of Operation Event* pada bus 1HT sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Karena penghilangan gangguan pada bus 1HT melebihi batas dari CCT maka respon dari sudut rotor generator STG 1-6 pada sistem akan berpotensi kehilangan sinkron yang ditunjukkan pada **Gambar 4.28**.



Gambar 4.28 Respon sudut rotor pada bus 1HT sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Dari **Gambar 4.27** saat gangguan dihilangkan pada waktu 0,59s maka respon generator STG 1-6 akan mengalami perubahan sudut rotor sebesar (179.75°) kemudian berubah (-177.06°) . Hal tersebut menggambarkan bahwa respon sudut rotor telah melebihi batas kestabilan dari sudut rotor dan akan mengakibatkan generator *step out* pada sistem bahkan dapat merusak rotor dari generator STG 1-6. Sehingga dibutuhkan rekomendasi penggunaan rele diferensial agar waktu untuk penghilangan gangguan dapat lebih cepat. Besar waktu operasi rele diferensial yang diatur sebesar 0.06 detik dengan waktu operasi minimal *Circuit Breaker* 0.07 detik sehingga total waktu penghilangan gangguan pada bus 1HT sebesar 0.13 detik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.29**. Respon setelah digunakannya rele diferensial sebagai rekomendasi dapat dilihat pada **Gambar 4.30**.

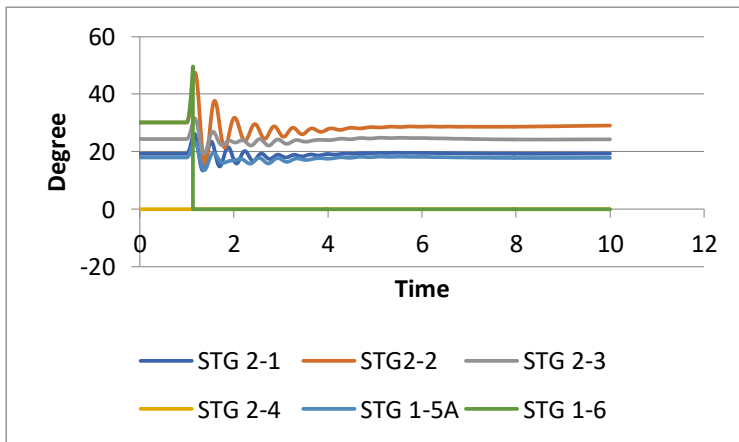
Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: 1HT

Data Rev.: Base Config: konfigur-1 Date: 12-07-2018

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
60.0	Relay4		60.0		Phase - 87
130	NP21		70.0		Tripped by Relay4 Phase - 87
526	Relay190	10.009	526		Phase - OC1 - 51
596	NP21		70.0		Tripped by Relay190 Phase - OC1 - 51
1281	RNP8A	5.728	1281		Phase - OC1 - 51
1351	NP8A		70.0		Tripped by RNP8A Phase - OC1 - 51
1580	Relay188	1.137	1580		Phase - OC1 - 51
1590	NP19		10.0		Tripped by Relay188 Phase - OC1 - 51
1677	RNP16	0.709	1677		Phase - OC1 - 51
1686	RNP11	1.463	1686		Phase - OC1 - 51
1687	NP16		10.0		Tripped by RNP16 Phase - OC1 - 51
1696	NP11		10.0		Tripped by RNP11 Phase - OC1 - 51
1744	RNP15	0.164	1744		Phase - OC1 - 51
1824	NP15		80.0		Tripped by RNP15 Phase - OC1 - 51
2686	RNP10	0.695	2686		Phase - OC1 - 51
2690	NP10		10.0		Tripped by RNP10 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.29 *Sequence of Operation Event* pada bus 1HT sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.



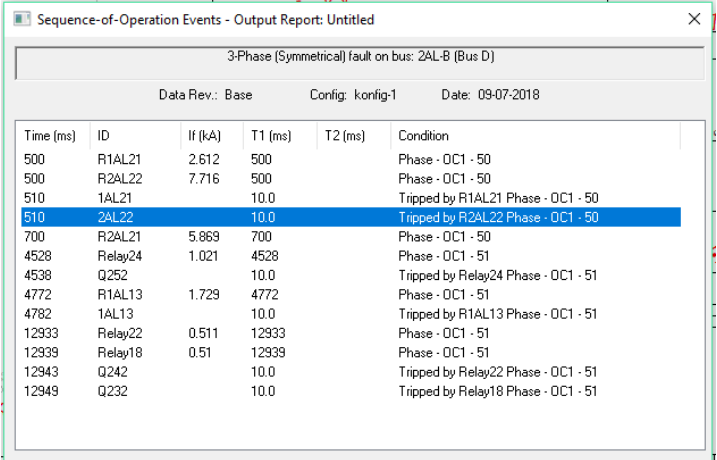
Gambar 4.30 Respon sudut rotor pada bus 1HT sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Sesudah dilakukan rekomendasi dengan penambahan rele diferensial maka respon generator STG 1-6 yang sebelumnya

berpotensi mengalami hilang sinkron atau *step out* dapat kembali stabil dengan perubahan sudut rotor sebesar (46.61°) .

4.4.2 Respon Sudut Rotor Sebelum dan Sesudah Dilakukan Rekomendasi Pada Bus 2AL-B

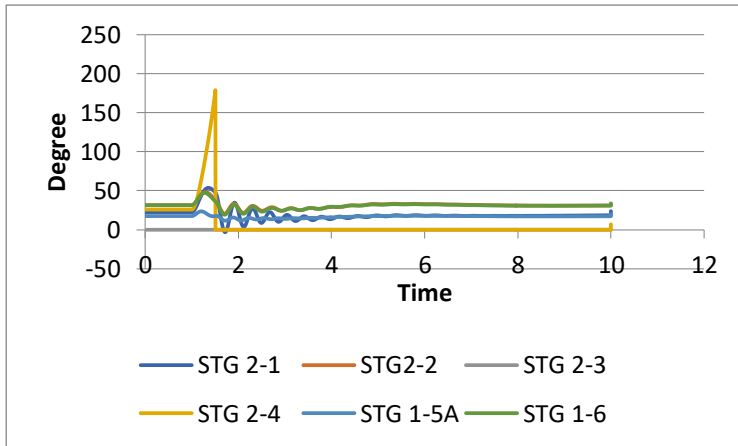
Pada saat bus 2AL-B mengalami gangguan, maka sistem akan memutuskan gangguan pada waktu 0.51s sesuai dengan *Sequence of Operation Event* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.31**.



Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
500	R1AL21	2.612	500		Phase - OC1 - 50
500	R2AL22	7.716	500		Phase - OC1 - 50
510	1AL21		10.0		Tripped by R1AL21 Phase - OC1 - 50
510	2AL22		10.0		Tripped by R2AL22 Phase - OC1 - 50
700	R2AL21	5.869	700		Phase - OC1 - 50
4528	Relay24	1.021	4528		Phase - OC1 - 51
4538	Q252		10.0		Tripped by Relay24 Phase - OC1 - 51
4772	R1AL13	1.729	4772		Phase - OC1 - 51
4782	1AL13		10.0		Tripped by R1AL13 Phase - OC1 - 51
12933	Relay22	0.511	12933		Phase - OC1 - 51
12939	Relay18	0.51	12939		Phase - OC1 - 51
12943	Q242		10.0		Tripped by Relay22 Phase - OC1 - 51
12949	Q232		10.0		Tripped by Relay18 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.31 *Sequence of Operation Event* pada bus 2AL-B sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Karena penghilangan gangguan pada bus 2AL-B melebihi batas dari CCT maka respon dari sudut rotor generator STG 2-4 pada sistem akan berpotensi kehilangan sinkron yang ditunjukkan pada **Gambar 4.32**.



Gambar 4.32 Respon sudut rotor pada bus 2AL-B sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Dari **Gambar 4.32** saat gangguan dihilangkan pada waktu 0,71s maka respon generator STG 2-4 akan mengalami perubahan sudut rotor sebesar (178.71°). Hal tersebut menggambarkan bahwa respon sudut rotor hampir mencapai batas kestabilan dari sudut rotor (kritis) dan berpotensi mengakibatkan generator *step out* pada sistem bahkan dapat merusak rotor dari generator STG 2-4 jika gangguan terlambat dihilangkan. Sehingga dibutuhkan rekomendasi penggunaan rele diferensial agar waktu untuk penghilangan gangguan dapat lebih cepat. Besar waktu operasi rele diferensial yang diatur sebesar 0.06 detik dengan waktu operasi minimal *Circuit Breaker* 0.01 detik sehingga total waktu penghilangan gangguan pada bus 2AL-B sebesar 0.07 detik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.33**. Respon setelah digunakannya rele diferensial sebagai rekomendasi dapat dilihat pada **Gambar 4.34**.

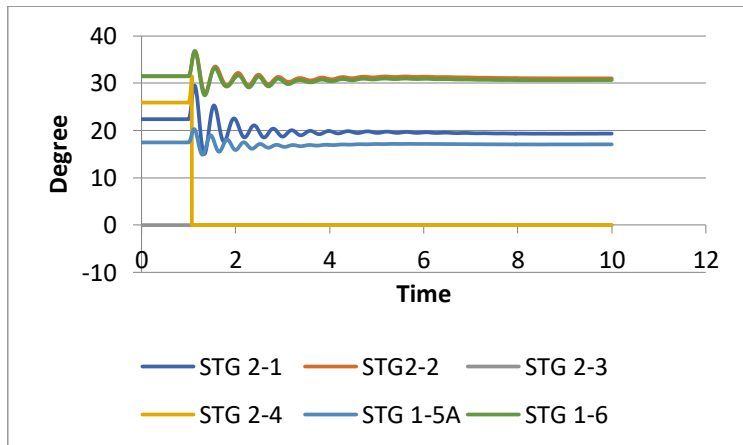
Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3-Phase (Symmetrical) fault on bus: 2AL-B (Bus D)

Data Rev.: Base Config: konfigur-1 Date: 12-07-2018

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
60.0	Relay8		60.0		Phase - 87
70.0	2AL22		10.0		Tripped by Relay8 Phase - 87
500	R1AL21	4.311	500		Phase - OC1 - 50
500	R2AL22	9.882	500		Phase - OC1 - 50
580	1AL21		80.0		Tripped by R1AL21 Phase - OC1 - 50
700	R2AL21	9.162	700		Phase - OC1 - 50
3208	Relay2	0.291	3208		Phase - OC1 - 51
3418	R62MB	2.738	3418		Phase - OC1 - 51
3418	R2AL18	2.738	3418		Phase - OC1 - 51
3428	2AL18		10.0		Tripped by R2AL18 Phase - OC1 - 51
3807	R1AL09	0.434	3807		Phase - OC1 - 51
3807	R65MA	0.434	3807		Phase - OC1 - 51
3817	1AL09		10.0		Tripped by R1AL09 Phase - OC1 - 51
4099	R1AL13	1.902	4099		Phase - OC1 - 51
4109	1AL13		10.0		Tripped by R1AL13 Phase - OC1 - 51
4109	R1AL04	1.114	4109		Phase - OC1 - 51

Gambar 4.33 Sequence of Operation Event pada bus 2AL-B sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.



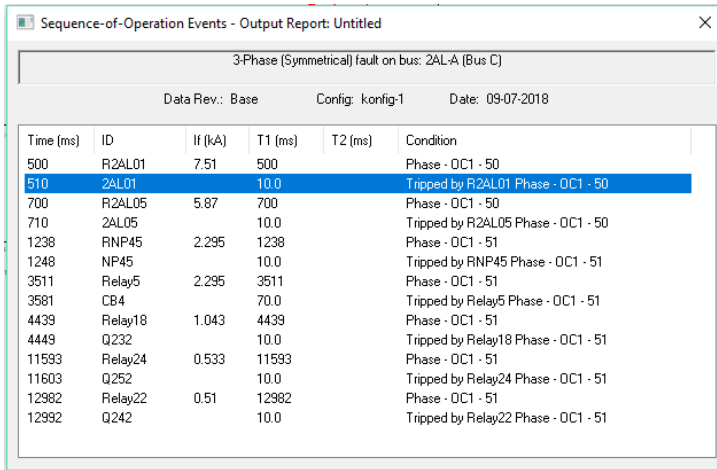
Gambar 4.34 Respon sudut rotor pada bus 2AL-B sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Sesudah dilakukan rekomendasi dengan penambahan rele diferensial maka respon generator STG 1-6 yang sebelumnya

berpotensi mengalami hilang sinkron atau *step out* dapat kembali stabil dengan perubahan sudut rotor sebesar (31.50°).

4.4.3 Respon Sudut Rotor Sebelum dan Sesudah Dilakukan Rekomendasi Pada Bus 2AL-A

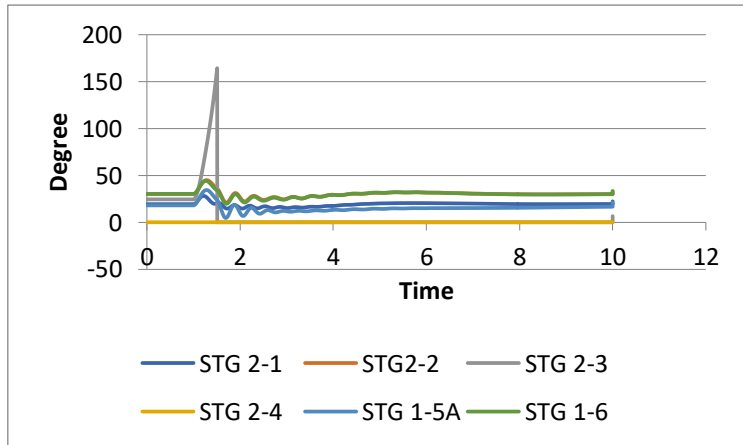
Pada saat bus 2AL-A mengalami gangguan, maka sistem akan memutuskan gangguan pada waktu 0.51s sesuai dengan *Sequence of Operation Event* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.35**.



Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
500	R2AL01	7.51	500		Phase - OC1 - 50
510	2AL01		10.0		Tripped by R2AL01 Phase - OC1 - 50
700	R2AL05	5.87	700		Phase - OC1 - 50
710	2AL05		10.0		Tripped by R2AL05 Phase - OC1 - 50
1238	RNP45	2.295	1238		Phase - OC1 - 51
1248	NP45		10.0		Tripped by RNP45 Phase - OC1 - 51
3511	Relay5	2.295	3511		Phase - OC1 - 51
3581	CB4		70.0		Tripped by Relay5 Phase - OC1 - 51
4439	Relay18	1.043	4439		Phase - OC1 - 51
4449	Q232		10.0		Tripped by Relay18 Phase - OC1 - 51
11593	Relay24	0.533	11593		Phase - OC1 - 51
11603	Q252		10.0		Tripped by Relay24 Phase - OC1 - 51
12982	Relay22	0.51	12982		Phase - OC1 - 51
12992	Q242		10.0		Tripped by Relay22 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.35 *Sequence of Operation Event* pada bus 2AL-A sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Karena penghilangan gangguan pada bus 2AL-A melebihi batas dari CCT maka respon dari sudut rotor generator STG 2-3 pada sistem akan berpotensi kehilangan sinkron yang ditunjukkan pada **Gambar 4.36**.



Gambar 4.36 Respon sudut rotor pada bus 2AL-A sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Dari **Gambar 4.36** saat gangguan dihilangkan pada waktu 0,51s maka respon generator STG 2-3 akan mengalami perubahan sudut rotor sebesar (164.08°). Hal tersebut menggambarkan bahwa respon sudut rotor hampir mencapai batas kestabilan sudut rotor (kritis) dan berpotensi mengakibatkan generator *step out* pada sistem bahkan dapat merusak rotor dari generator STG 2-3 jika gangguan terlambat dihilangkan. Sehingga dibutuhkan rekomendasi penggunaan rele diferensial agar waktu untuk penghilangan gangguan dapat lebih cepat. Besar waktu operasi rele diferensial yang diatur sebesar 0.06 detik dengan waktu operasi minimal *Circuit Breaker* 0.01 detik sehingga total waktu penghilangan gangguan pada bus 2AL-A sebesar 0.07 detik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.37**. Respon setelah digunakannya rele diferensial sebagai rekomendasi dapat dilihat pada **Gambar 4.38**.

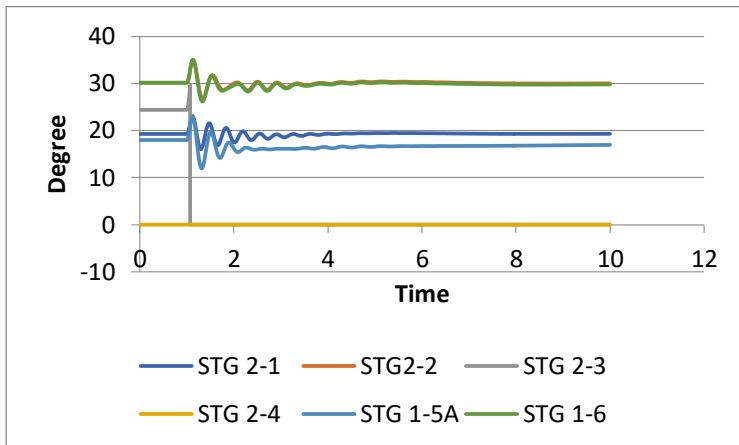
Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled

3Phase (Symmetrical) fault on bus: 2AL-A (Bus C)

Data Rev.: Base Config: konfigur-1 Date: 12-07-2018

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
60.0	Relay9		60.0		Phase - 87
70.0	2AL01		10.0		Tripped by Relay9 Phase - 87
500	R2AL01	9.545	500		Phase - OC1 - 50
510	2AL01		10.0		Tripped by R2AL01 Phase - OC1 - 50
700	R2AL05	9.164	700		Phase - OC1 - 50
700	RNP45	3.761	700		Phase - OC1 - 50
710	2AL05		10.0		Tripped by R2AL05 Phase - OC1 - 50
710	RNP45		10.0		Tripped by RNP45 Phase - OC1 - 50
1167	R2AL12	1.03	1167		Phase - OC1 - 51
1167	R65MB	1.03	1167		Phase - OC1 - 51
1177	2AL12		10.0		Tripped by R2AL12 Phase - OC1 - 51
2785	R2AL10	0.764	2785		Phase - OC1 - 51
2785	R64MB	0.764	2785		Phase - OC1 - 51
2795	2AL10		10.0		Tripped by R2AL10 Phase - OC1 - 51
3549	Relay5	2.276	3549		Phase - OC1 - 51
3610	CM1		3610		Tripped by Relay5 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.37 Sequence of Operation Event pada bus 2AL-A sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.



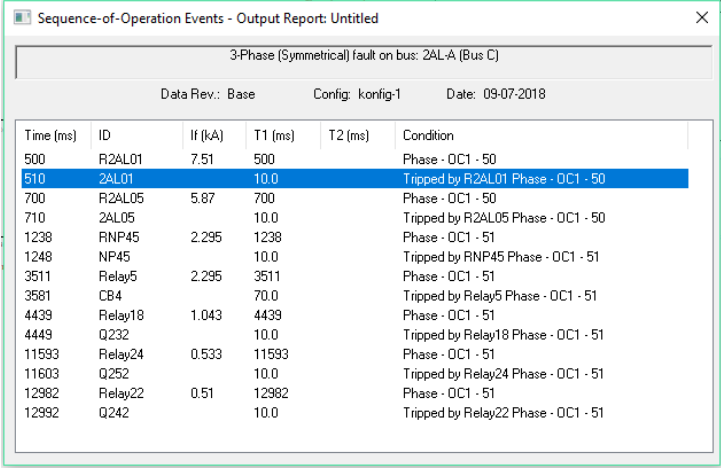
Gambar 4.38 Respon sudut rotor pada bus 2AL-A sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Sesudah dilakukan rekomendasi dengan penambahan rele diferensial maka respon generator STG 2-3 yang sebelumnya

berpotensi mengalami hilang sinkron atau *step out* dapat kembali stabil dengan perubahan sudut rotor sebesar (29.60°).

4.4.4 Respon Sudut Rotor Sebelum dan Sesudah Dilakukan Rekomendasi Pada Bus 1AL-A

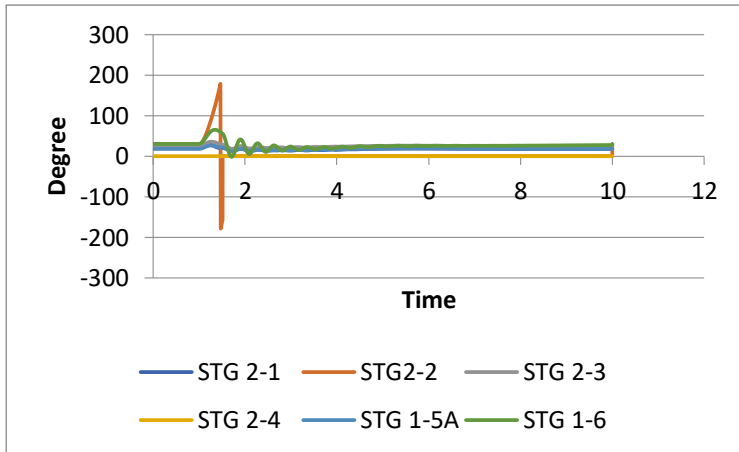
Pada saat bus 1AL-A mengalami gangguan, maka sistem akan memutuskan gangguan pada waktu 0.51s sesuai dengan *Sequence of Operation Event* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.39**.



Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
500	R2AL01	7.51	500		Phase - OC1 - 50
510	2AL01		10.0		Tripped by R2AL01 Phase - OC1 - 50
700	R2AL05	5.87	700		Phase - OC1 - 50
710	2AL05		10.0		Tripped by R2AL05 Phase - OC1 - 50
1238	RNP45	2.295	1238		Phase - OC1 - 51
1248	NP45		10.0		Tripped by RNP45 Phase - OC1 - 51
3511	Relay5	2.295	3511		Phase - OC1 - 51
3581	CB4		70.0		Tripped by Relay5 Phase - OC1 - 51
4439	Relay18	1.043	4439		Phase - OC1 - 51
4449	Q232		10.0		Tripped by Relay18 Phase - OC1 - 51
11593	Relay24	0.533	11593		Phase - OC1 - 51
11603	Q252		10.0		Tripped by Relay24 Phase - OC1 - 51
12982	Relay22	0.51	12982		Phase - OC1 - 51
12992	Q242		10.0		Tripped by Relay22 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.39 *Sequence of Operation Event* pada bus 1AL-A sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Karena penghilangan gangguan pada bus 1AL-A melebihi batas dari CCT maka respon dari sudut rotor generator STG 2-2 pada sistem akan berpotensi kehilangan sinkron yang ditunjukkan pada **Gambar 4.40**.

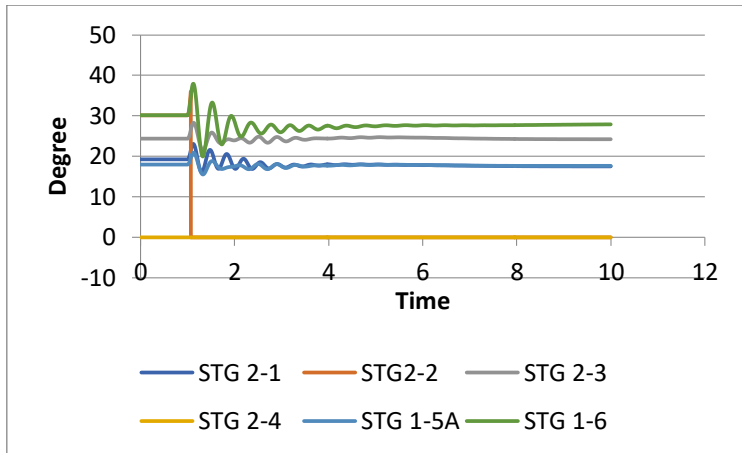


Gambar 4.40 Respon sudut rotor pada bus 1AL-A sebelum dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Dari **Gambar 4.40** saat gangguan dihilangkan pada waktu 0,51s maka respon generator STG 2-2 akan mengalami perubahan sudut rotor sebesar (178.26°) kemudian berubah (-178.63°) dengan waktu yang sangat singkat. Hal tersebut menggambarkan bahwa respon sudut rotor telah melebihi batas kestabilan sudut rotor dan mengakibatkan generator *step out* pada sistem bahkan dapat merusak rotor dari generator STG 2-2. Sehingga dibutuhkan rekomendasi penggunaan rele diferensial agar waktu untuk penghilangan gangguan dapat lebih cepat. Besar waktu operasi rele diferensial yang diatur sebesar 0.06 detik dengan waktu operasi minimal *Circuit Breaker* 0.01 detik sehingga total waktu penghilangan gangguan pada bus 1AL-A sebesar 0.07 detik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.41**. Respon setelah digunakannya rele diferensial sebagai rekomendasi dapat dilihat pada **Gambar 4.42**.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Untitled					
3-Phase (Symmetrical) fault on bus: 1AL-A (Bus A)					
Data Rev.: Base		Config: konfigur-1		Date: 12-07-2018	
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
60.0	Relay4		60.0		Phase - 87
60.0	Relay14		60.0		Phase - 87
70.0	1AL00		10.0		Tripped by Relay14 Phase - 87
130	NP21		70.0		Tripped by Relay4 Phase - 87
700	R1AL02	9.164	700		Phase - OC1 - 50
710	1AL02		10.0		Tripped by R1AL02 Phase - OC1 - 50
840	Relay190	3.864	840		Phase - OC1 - 51
910	NP21		70.0		Tripped by Relay190 Phase - OC1 - 51
1583	R1AL05	1.157	1583		Phase - OC1 - 51
1583	R61MA	1.157	1583		Phase - OC1 - 51
1593	1AL05		10.0		Tripped by R1AL05 Phase - OC1 - 51
2798	RNP8A	2.24	2798		Phase - OC1 - 51
2868	NP8A		70.0		Tripped by RNP8A Phase - OC1 - 51
4067	Relay22	1.151	4067		Phase - OC1 - 51
4077	Q242		10.0		Tripped by Relay22 Phase - OC1 - 51

Gambar 4.41 Sequence of Operation Event pada bus 1AL-A sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.



Gambar 4.42 Respon sudut rotor pada bus 1AL-A sesudah dilakukan rekomendasi menggunakan rele diferensial.

Sesudah dilakukan rekomendasi dengan penambahan rele diferensial maka respon generator STG 2-2 yang sebelumnya

berpotensi mengalami hilang sinkron atau *step out* dapat kembali stabil dengan perubahan sudut rotor sebesar (36.04°).

Perbandingan setelah penggunaan rele diferensial dengan nilai CCT yang ada ditunjukkan pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Perbandingan waktu penghilangan gangguan setelah penambahan rele diferensial dengan nilai CCT

No	Bus ID	Waktu Penghilangan Gangguan (Sec)	Hasil CCT (Sec)	Status
1	1HT	0.13	0.46-0.47	AMAN
2	2AL-B	0.07	0.44-0.45	AMAN
3	2AL-A	0.07	0.46-0.47	AMAN
4	1AL-A	0.07	0.40-0.41	AMAN

Berikut rekomendasi penempatan rele diferensial yang akan ditunjukkan pada **Gambar 4.43**.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari apa yang telah penulis lakukan dalam evaluasi pengaturan waktu rele pengaman pada PT Pertamina RU V Balikpapan dengan mempertimbangkan *Transient Stability Assessment* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari 11 studi kasus analisis untuk mengetahui keadaan stabil dan tidak stabilnya respon generator dari sudut rotor didapatkan 4 kasus yang perlu dilakukan evaluasi saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa. Kelima kasus yang dimaksud adalah saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus : 1HT, 2AL-B, 2AL-A dan 1AL-A.
2. Dengan mempertimbangkan analisis *Transienst Stability Assessment* seperti penentuan nilai range stabil dan tidak stabil sistem setelah gangguan dihilangkan dengan nilai CCT dapat meminimalisir kerusakan peralatan pada sistem kelistrikan PT Pertamina RU V Balikpapan.
3. Dari nilai CCT yang telah ditemukan dengan menggunakan metode *Time Domain Simulation* akan digunakan untuk rekomendasi pengaturan waktu rele pengaman PT Pertamina RU V Balikpapan agar kestabilan dan keandalan sistem dapat terjaga .

5.2 Saran

Dari Tugas Akhir yang telah dikerjakan maka penulis memberikan saran :

1. Perlu dilakukan studi evaluasi kestabilan sistem tenaga pada PT Pertamina RU V Balikpapan dimana tidak hanya memperhatikan respon sudut rotor namun juga memperhatikan respon frekuensi dan tegangan agar mampu memberikan rekomendasi yang lebih handal.
2. Selain rekomendasi penambahan rele diferensial yang telah diberikan penulis untuk mengatasi permasalahan *Transient Stability Assessment* pada sistem kelistrikan PT

Pertamina RU V Balikpapan sebenarnya masih terdapat beberapa rekomendasi lainnya seperti penggunaan *Voltage Restraint Relay*, *Agent System* dan *Circuit Breaker Interlock* yang mampu bekerja saat terjadi gangguan hubung singkat dititik gangguan dengan masih mempertimbangkan koordinasi tiap rele pengaman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE, Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE Std 242-2001TM. 2001.
- [2] E. Purwanto W. H., “Evaluasi Pengaruh Distributed Generation (DG) Terhadap Proteksi Sistem Distribusi Menggunakan Protection Coordination Index (PCI) di PT Pertamina RU V Balikpapan,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [3] W. I. Rahman, M. Pujiantara, and R. Wahyudi, “Setting Rele Diferensial Bus High Impedance Pada Sistem distribusi Ring 33KV di Pertamina RU V Balikpapan,” J. Tek. POMITS, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [4] P. Kundur et al., “Definition and Classification of Power System Stability,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 3, pp. 1387–1401, 2004.
- [5] P. Kundur, Power System Stability and Control. California: McGraw-Hill, Inc, 1993.
- [6] IEEE, Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants. IEEE Std C37.106TM-2003 (Revision of ANSI/IEEE C37.106-1987) IEEE, 2003.
- [7] IEEE, Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data. IEEE Std 1159.3TM-2003 IEEE, 2003.
- [8] J. C. Das, Transients in Electrical Systems Analysis, Recognition and Mitigation. The McGraw-Hill Companies, Inc, 2010.
- [9] Yudiastira, “Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pertamina RU V Balikpapan Akibat Penambahan Generator 2x15MW dan Penambahan Beban 25 MW,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [10] J. J. Granger and W. D. Stevenson, Power System Analysis. Singapore: McGraw-Hill, Inc, 1994.

- [11] A. Priyadi, Buku Bahan Ajar Kestabilan Transient. Surabaya: Departemen Teknik Elektro, 2017.
- [12] S. Atmaja, M. E. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, and I. T. Yuwono, "Perhitungan Critical Clearing Time dengan Menggunakan Metode Time Domain Simulation," pp. 1–6, 2012.

LAMPIRAN

Setting Governor :

- Generator STG 1-6 (9 MW)**

Tipe Governor : 2301

Mode : Droop

Type	Mode	LS GP#		
2301	Droop	None		
Droop	Pmax	Pmin	thetaMax	thetaMin
5	9	0	42	0

Sample Data

alpha	beta	rho	K1
0.8273	0.165	0.2	271.6

tau	T1	T2
0.1	0.025	0.01

- Generator STG 1-5A (9 MW)**

Tipe Governor : 2301

Mode : Droop

Type	Mode	LS GP#		
2301	Droop	None		
Droop	Pmax	Pmin	thetaMax	thetaMin
5	9	0	42	0

Sample Data

alpha	beta	rho	K1
0.8273	0.165	0.2	271.6

tau	T1	T2
0.1	0.025	0.01

- Generator STG 2-4 (12.8 MW) Swing Generator**

Type Governor : 2301

Mode : Droop

Type	Mode	LS GP#
2301	Droop	None

Sample Data

Droop	Pmax	Pmin	thetaMax	thetaMin
5	12.632	0	42	0

alpha	beta	rho	K1
0.8273	0.165	0.2	271.6

tau	T1	T2
0.1	0.025	0.01

- Generator STG 2-3 (12.8 MW)**

Type Governor : 2301

Mode : Droop

Type	Mode	LS GP#
2301	Droop	None

Sample Data

Droop	Pmax	Pmin	thetaMax	thetaMin
5	12.632	0	42	0

alpha	beta	rho	K1
0.8273	0.165	0.2	271.6

tau	T1	T2
0.1	0.025	0.01

- Generator STG 2-1 (8.4 MW)**

Tipe Governor : 2301

Mode : Droop

Type	Mode	LS GP#		
2301	Droop	None		
Droop	Pmax	Pmin	thetaMax	thetaMin
5	6	0	42	0

Sample Data

alpha	beta	rho	K1
0.8273	0.165	0.2	271.6

tau	T1	T2
0.1	0.025	0.01

- Generator STG 2-2 (12.8 MW)**

Tipe Governor : 2301

Mode : Droop

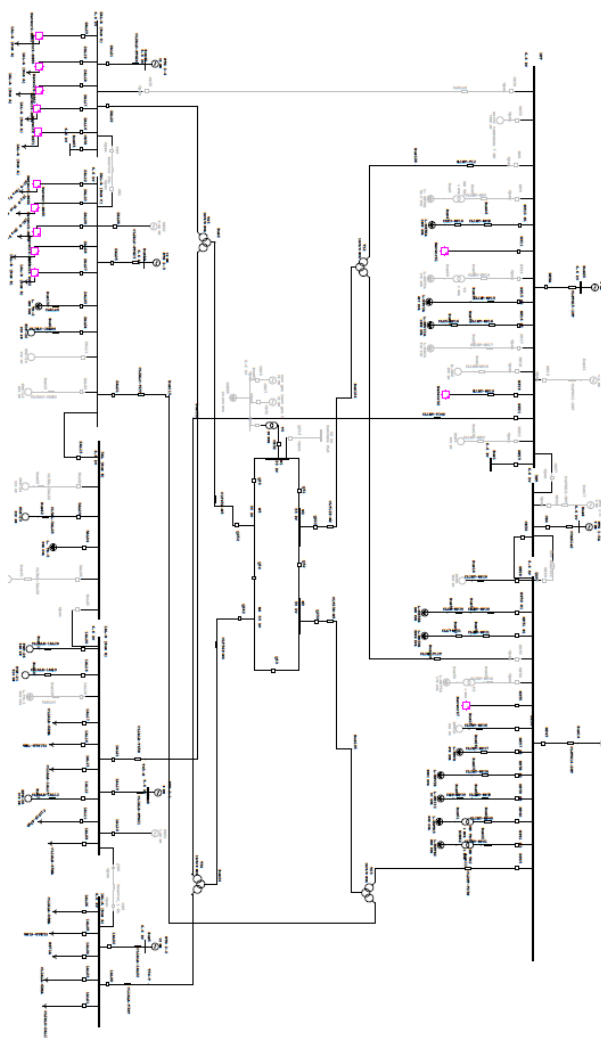
Type	Mode	LS GP#		
2301	Droop	None		
Droop	Pmax	Pmin	thetaMax	thetaMin
5	10.5	0	42	0

Sample Data

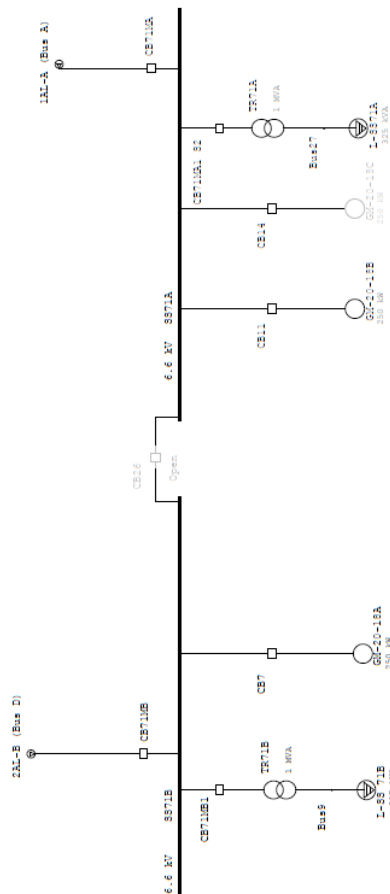
alpha	beta	rho	K1
0.8273	0.165	0.2	271.6

tau	T1	T2
0.1	0.025	0.01

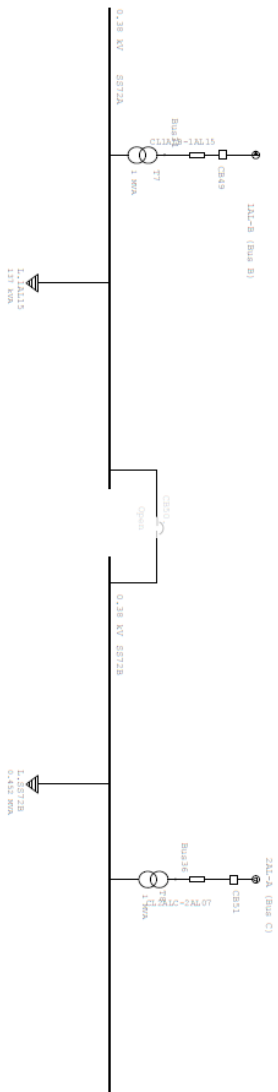
One-Line Diagram - Relay RU-V (Transient Stability Analysis)



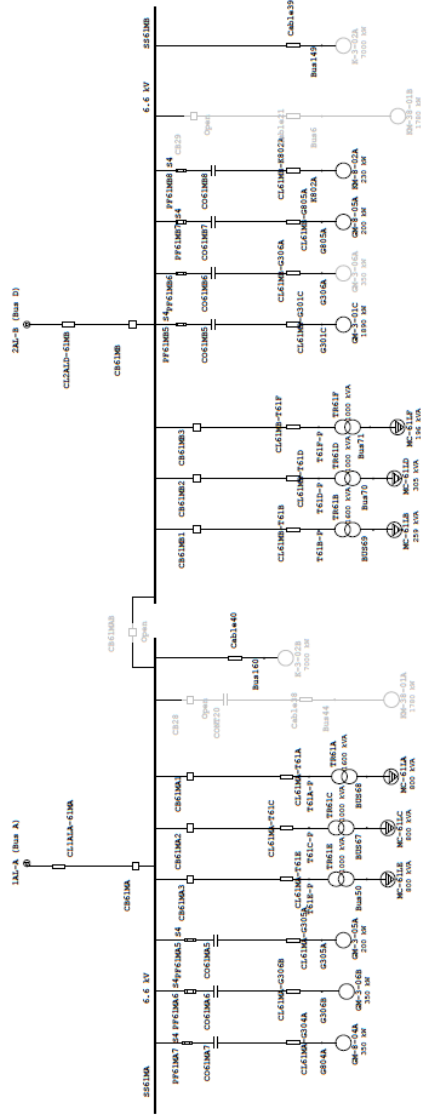
One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network SS71 (Transient Stability Analysis)



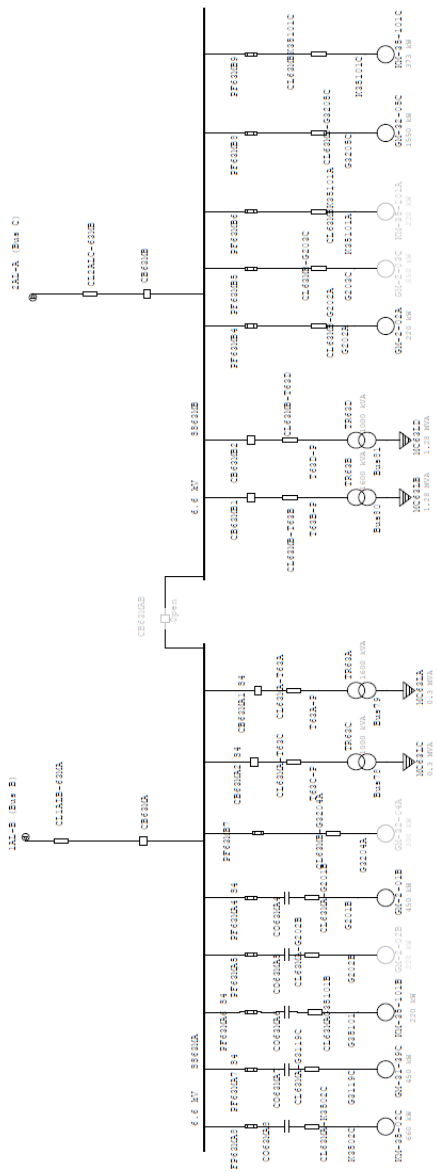
One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network SS72 (Transient Stability Analysis)



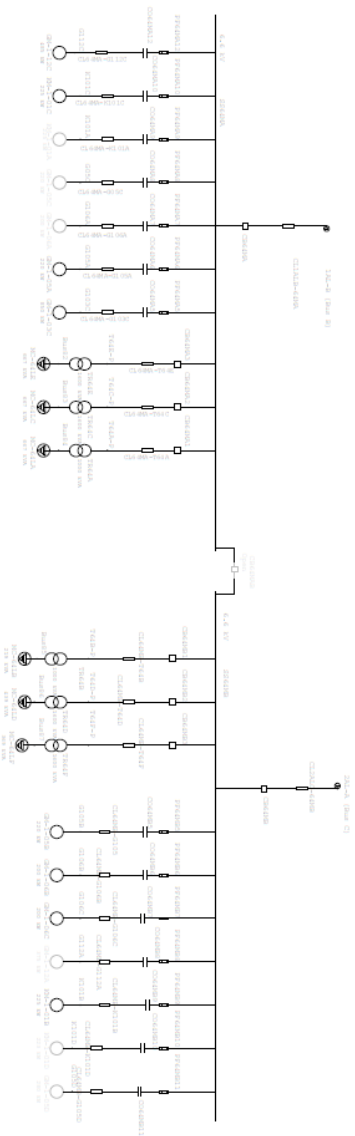
One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network-SS61 (Transient Stability Analysis)



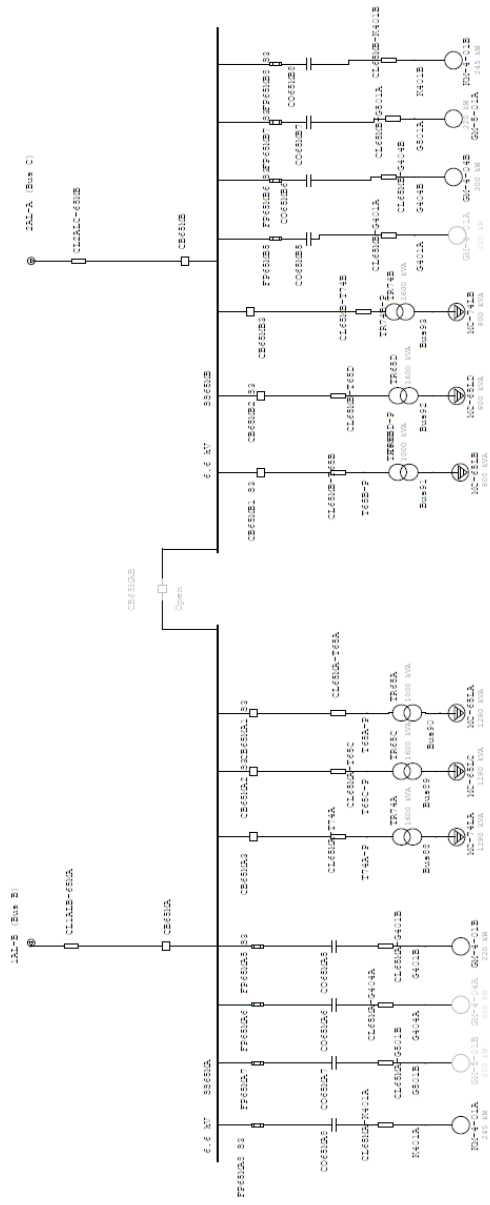
One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network-SS63 (Transient Stability Analysis)



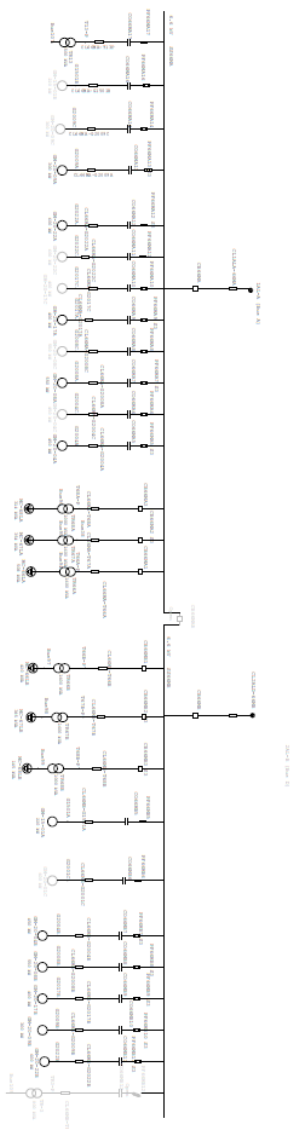
One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network-SS64 (Transient Stability Analysis)



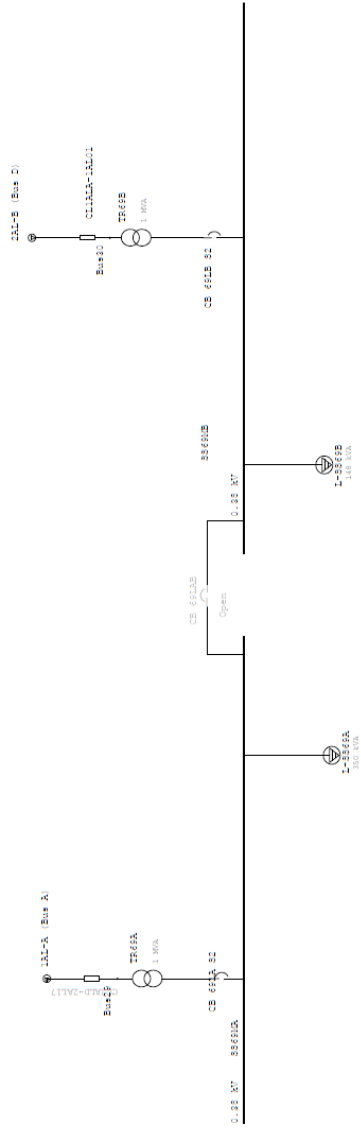
One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network-SS65 (Transient Stability Analysis)



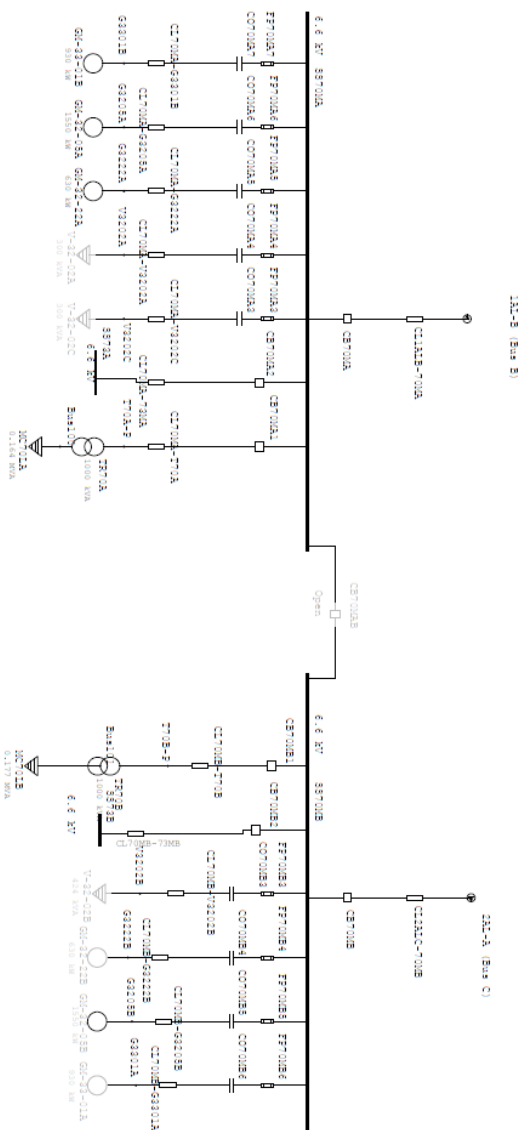
One-Line Diagram - Relay RU-V (Transient Stability Analysis)=>Network-SSC



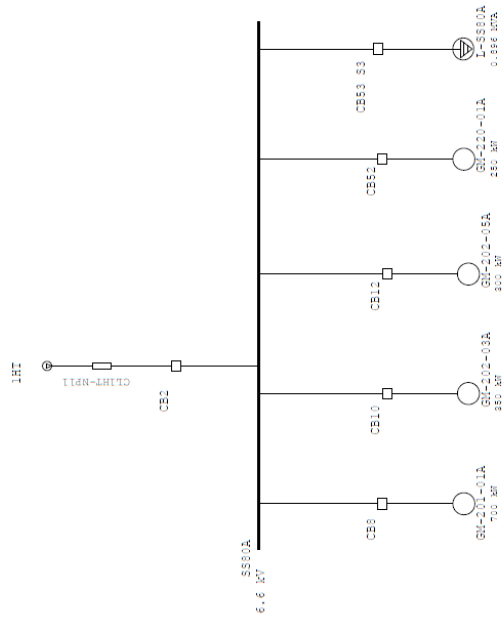
One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network-SS69 (Transient Stability Analysis)



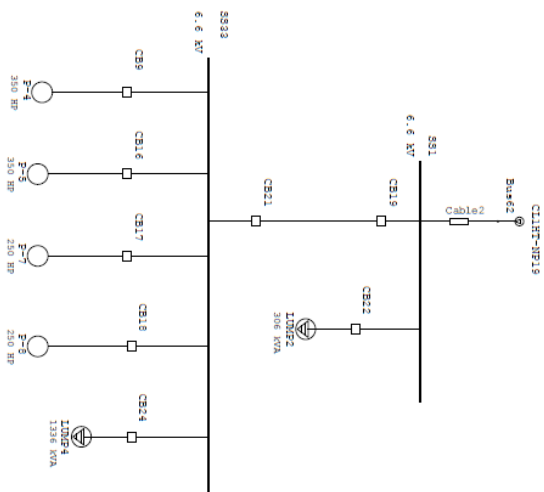
One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network-SS70 (Transient Stability Analysis)



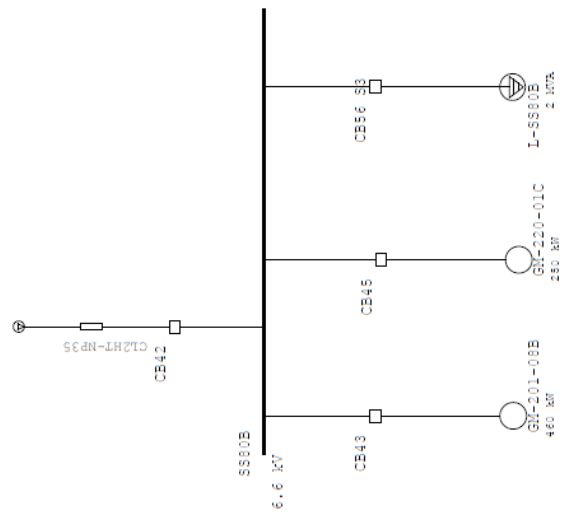
One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network1 (Transient Stability Analysis)



One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network2 (Transient Stability Analysis)



One-Line Diagram - Relay RU-V=>Network7 (Transient Stability Analysis)



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Tegar Iman Ababil, dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 7 Oktober 1995. Merupakan anak Pertama dari pasangan Nuzulul Rohmat Waspodo, S.Sos dan Siti Kusmiati. Penulis telah menempuh pendidikan selama 14 tahun (TK-SD-SMP-SMA) di kota Surabaya. Penulis memulai jenjang pendidikan di TK Handayani pada tahun 2000-2002, SDN Pacar Keling III pada tahun 2002-2008, SMP Negeri 29 Surabaya tahun ajaran 2008-2011 dan SMA

Negeri 19 Surabaya pada tahun 2011-2014 dan sejak 2014 menempuh pendidikan sebagai mahasiswa bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (Lipist B204). Penulis dapat dihubungi melalui email tegarimanababil@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan