

**STUDI SISTEM PROTEKSI PADA INTERKONEKSI
11 X 157 MW PLTU PT PERTAMINA (PERSERO) RU
IV CILACAP
TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro



DISUSUN OLEH :

Nama : Haryo Pujo Tatmoko

NIM : 12524036

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2018

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
STUDI SISTEM PROTEKSI PADA INTERKONEKSI 11 X 157
MW PLTU PT PERTAMINA (PERSERO) RU IV CILACAP
TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

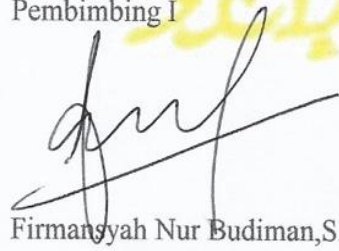
Disusun oleh :

Haryo Pujo Tatmoko

12524036

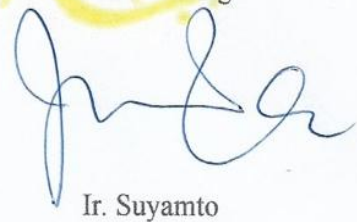
Yogyakarta, 31 Januari 2018

Pembimbing I



Firmansyah Nur Budiman, S.T., M.Sc.

Pembimbing II



Ir. Suyamto

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

STUDI SISTEM PROTEKSI PADA INTERKONEKSI 11 X 157
MW PLTU PT PERTAMINA (PERSERO) RU IV CILACAP

TUGAS AKHIR

Disusun oleh :

Haryo Pujo Tatmoko

12524036

Telah Dipertahankan Di Depan Sidang Penguji Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Konsentrasi Ketenagaan Jurusan Teknik Elektro Fakultas

Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 31 Januari

Ir. Suyamto

Ketua Dosen Penguji

Husein Mubarak, S.T.,M.Eng.

Dosen Penguji I

Setyawan Wahyu Pratomo, S.T.,M.T.

Dosen Penguji II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia



Dr.Eng. Hendra Setiawan, S.T.,M.T.

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Haryo Pujo Tatmoko

No. Mahasiswa : 12524036

Menyatakan dengan jujur bahwa Tugas Akhir ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan tidak berisi hasil jiplakan ataupun plagiat terhadap karya tulis orang lain. Adapun bagian-bagian tertentu sebagai referensi saya ambil sesuai dengan ketentuan dan tata tertib yang berlaku dalam penulisan karya ilmiah. Jika terbukti ada sesuatu yang melanggar terutama penjiplakan terhadap karya tulis orang lain, saya siap bertanggung jawab sepenuhnya.

Yogyakarta, 14 Januari 2018



Haryo Pujo Tatmoko

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucap puji syukur kepada Allah SWT, penulis persembahkan karya tulis ini untuk semua orang yang tercinta dan tersayang :

1. Ayahanda tercinta Sutaryo S.E dan Ibunda Sri Hardani S.Pd , dimana sejak kecil hingga sekarang yang telah memberikan semangat, motivasi dan kasih sayangnya.
2. Keluarga besar yang selalu mendoakan dan mendukung selama ini.
3. Para dosen Teknik Elektro UII yang senantiasa memberikan ilmu, arahan, dan nasehat kepada penulis.
4. Para teman seangkatan yang telah memberikan semangat dan masukan.
5. Para sahabat penulis yang tersayang dan tercinta.

HALAMAN MOTTO

Hanya kepada-Mu kami menyembah dan hanya kepada-Mu kami memohon pertolongan (Al-Fatihah:5).

Allah tidak membebani seseorang melainkan dengan kesanggupannya

(Q.S. Al-Baqarah:286).

Man Jadda Wajada.

Usaha keras itu tak akan mengkhianati, jika mengkhianati berarti usahanya kurang keras.

لَنُنَبِّئَنَّ اَمَّعَ جِرَّهُ اَوْ يُعْطَى م سَنَ لَا اَنْزُرُ : لِمَلِّمِ اَلِيبُ طَا ، حَمَّةِ اَلْبِ طَالِبُ : لُعَلِّمِ اَلِيبُ طَا

“Orang yang menuntut ilmu berarti menuntut rahmat ; orang yang menuntut ilmu berarti menjalankan rukun Islam dan Pahala yang diberikan kepada sama dengan para Nabi”.

(HR. Dailani dari Anas r.a)

Kita harus selalu sadar dengan apa yang kita pikirkan. Situasi itu selalu netral. Situasi itu menjadi baik atau buruk karena pikiran kita.

Dalam hidup mungkin kamu tak bisa mengendalikan apa yang akan terjadi, tapi kamu bisa selalu mengendalikan bagaimana untuk menghadapinya.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas segala nikmat, rahmat, serta hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“STUDI SISTEM PROTEKSI PADA INTERKONEKSI 11 X 157 MW PLTU PT PERTAMINA (PERSERO) RU IV CILACAP”**. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Strata 1 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini tentunya tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu dengan segala hormat penulis ucapkan terima kasih yang sebesar – sebesar kepada:

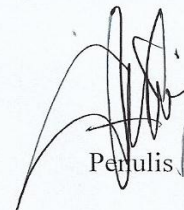
1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan kekuatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan laporannya.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah banyak memberikan do’a, motivasi, nasihat, saran dan bantuan baik moril maupun materiil.
3. Bapak Firmansyah Nur Budiman, S.T, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian masalah yang ditemui dalam proses pembuatan pemodelan sistem dan analisa hasil.
4. Bapak Ir Suyamto selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan banyak waktu untuk membantu penulis dalam pengerjaan serta susunan penelitian ini sampai selesai penulisan laporan.
5. Bapak Dr. Eng, Hendra Setiawan, S.T, M.T, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak RM. Sisdarmanto Adinandra, S.T, M.Sc, Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro, terima kasih atas ilmu dan bimbingannya selama kuliah di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri UII .

8. Bapak Wahyu Jati, S.T dan Ibu Diny Gavisa, S.T selaku pembimbing di PT. Pertamina RU IV Cilacap yang telah membantu kelancaran proses pengambilan data penelitian.
9. Teman-teman Jurusan Teknik Elektro Angkatan 2012 yang telah membantu dan memberikan motivasi lebih kepada saya dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk pengembangan lebih lanjut. Akhir kata, penulis berharap bahwa tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 14 Januari 2018



Penulis

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

1. RFCC = *Residual Fluid Catalytic Cracking*
2. RSPC = Rumah Sakit Pertamina Cilacap
3. RU IV = *Refinery Unit 4*
4. SLD = *Single Line Diagram*
5. OLD = *One Line Diagram*
6. OCR = *Overcurrent Relay*
7. ETAP = *Electric Transient and Analysis Program*
8. CB = Circuit Breaker
9. *Arc time* = Waktu dihasilkan saat busur api muncul pada gangguan
10. SUTM = Saluran udara tegangan menengah
11. SKTM = Saluran kabel tegangan menengah
12. PMT = Pemutus tegangan
13. JOB = *Joint Operation Body*
14. PLTU = Pembangkit listrik tenaga uap
15. HP = *Horse Power*

ABSTRAK

Kehandalan sistem pada sektor industri merupakan syarat wajib untuk memenuhi kelangsungan dan keseimbangan distribusi tenaga listrik. Terkait belum dilakukannya interkoneksi 11 pembangkit (PLTU) dengan total daya 157 MW antara area *existing* dan RFCC pada sistem kelistrikan di PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap, maka dilakukan penelitian studi sistem proteksi pada interkoneksi pembangkit sebagai ilustrasi menggunakan analisis koordinasi kinerja proteksi *Relay* OCR saat diberi skematis gangguan di sisi hulu serta hilir pada kedua sistem tersebut dan dapat diketahui hasil yang sesuai dengan standar IEEE 242 sekaligus memenuhi syarat *Relay* proteksi. Proses pemodelan sistem dan perhitungan aliran daya serta analisa koordinasi kinerja *Relay* proteksi pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6. Hasil simulasi pada percobaan pertama dihasilkan kondisi *overload* pada sebagian besar trafo dan *superfluous branch* serta kondisi *alert* gangguan sehingga dilakukan evaluasi dan perbaikan sistem. Setelah dilakukan penyederhaan dihasilkan kondisi sistem yang baik dengan kondisi aliran daya normal serta dihasilkan kinerja proteksi yang baik sesuai dengan standar IEEE 242. Pada sistem interkoneksi ditunjukkan pada kurva koordinasi kinerja *Relay* OCR trip terdekat dengan gangguan berdasarkan setelan *instantaneous* 2.162, 0.568, 16.95, 4.82, 5.698 *normal inverse* standar ANSI pada area *existing* dan setelan *instantaneous* 0.682 serta 0.832 standar *inverse* IEC pada area RFCC menghasilkan *time delay* 0,2 s - 0,3 s serta *time dial* 0,4 s - 0,5 s .

Kata kunci : Studi Sistem Proteksi, Interkoneksi Pembangkit, Koordinasi *Relay* proteksi, ETAP 12.6.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI | Error! Bookmark not defined. |
| PERNYATAAN..... | Error! Bookmark not defined. |
| HALAMAN PERSEMBAHAN..... | v |
| HALAMAN MOTTO | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN | ix |
| ABSTRAK | x |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL..... | xiv |
| BAB I | 1 |
| PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 1 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 1 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 2 |
| BAB II..... | 3 |
| TINJAUAN PUSTAKA..... | 3 |
| 2.1 Studi Literatur..... | 3 |
| 2.2 Tinjauan Teori..... | 3 |
| 2.2.1 Tujuan Sistem Proteksi..... | 4 |
| 2.2.2 Syarat <i>Relay</i> Proteksi..... | 4 |
| 2.2.3 Komponen Sistem Proteksi..... | 5 |
| 2.2.4 OCR (<i>Over Current Relay</i> / <i>Relay</i> Arus Lebih)..... | 7 |
| BAB III..... | 9 |
| METODOLOGI PENELITIAN | 9 |
| 3.1 Pengumpulan Data..... | 9 |
| 3.2 Perancangan Pemodelan Sistem..... | 12 |
| 3.2.1 Perancangan <i>Single Line</i> Diagram <i>Existing</i> | 12 |
| 3.2.2 Perancangan <i>Single Line</i> Diagram RFCC..... | 13 |
| 3.2.3 Perancangan <i>Single Line</i> Diagram Interkoneksi..... | 14 |
| 3.3 Proses Simulasi ETAP..... | 16 |

| | |
|---|----|
| BAB IV | 17 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | 17 |
| 4.1 Pengujian <i>Loadflow</i> (Aliran Daya)..... | 17 |
| 4.1.1 Pengujian <i>Loadflow</i> interkoneksi..... | 18 |
| 4.2 Pengujian hubung singkat (<i>short circuit</i>)..... | 19 |
| 4.3 Pengujian <i>Star Protective Device</i> | 20 |
| 4.3.1 Pengujian Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hilir Distribusi <i>Existing</i> | 21 |
| 4.3.2 Pengujian Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hulu Distribusi <i>Existing</i> ... | 22 |
| 4.3.3 Pengujian Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hilir Distribusi RFCC..... | 24 |
| 4.3.4 Pengujian Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hulu Distribusi RFCC..... | 25 |
| BAB V | 28 |
| PENUTUP | 28 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 28 |
| 5.2 Saran..... | 29 |
| DAFTAR PUSTAKA | 30 |
| LAMPIRAN | |
| 1. Gambar <i>Single Line Diagram Existing</i> Dan RFCC | |
| 2. Tabel CT, CB, Data Beban, Data In, Data Isc, Dan Data Kabel | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 OCR Bekerja Memerintahkan Trip PMT..... | 7 |
| Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metode Penelitian..... | 10 |
| Gambar 3.2 SLD Interkoneksi Distribusi Pembangkit | 15 |
| Gambar 4.1 Hasil Pengujian <i>Loadflow</i> Interkoneksi Keseluruhan Sistem..... | 19 |
| Gambar 4.2 Pengujian <i>Shortcircuit</i> Interkoneksi Keseluruhan Sistem | 20 |
| Gambar 4.3 Pengujian Koordinasi <i>Relay</i> OCR Pada Sisi Hilir Area <i>Existing</i> | 21 |
| Gambar 4.4 Kurva Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hilir Area <i>Existing</i> | 22 |
| Gambar 4.5 Pengujian Koordinasi <i>Relay</i> OCR Pada Sisi Hulu Area <i>Existing</i> | 23 |
| Gambar 4.6 Kurva Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hulu Area <i>Existing</i> | 24 |
| Gambar 4.7 Pengujian Koordinasi <i>Relay</i> OCR Pada Sisi Hilir Area RFCC | 24 |
| Gambar 4.8 Kurva Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hilir Area RFCC..... | 25 |
| Gambar 4.9 Pengujian Koordinasi <i>Relay</i> OCR Pada Sisi Hulu Area RFCC | 26 |
| Gambar 4.10 Kurva Koordinasi Pada Sisi Hulu Area RFCC | 27 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Karakteristik Relay Berdasarkan Waktu..... | 8 |
| Tabel 3.1 Data Generator..... | 11 |
| Tabel 3.2 Data <i>Transformator</i> | 11 |
| Tabel 4.1 <i>Report</i> Hasil Interkoneksi Generator..... | 17 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Faktor kebutuhan listrik akan selalu meningkat seiring perkembangan zaman. Begitu pula kehandalan sistem proteksi akan terus meningkat seiring bertambahnya beban operasional dan penambahan daya yang berdampak pada faktor kestabilan dan kelangsungan pasokan tenaga listrik di suatu industri. Pada saat ini PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap sedang melakukan perluasan industri dengan adanya penambahan 3 sistem pembangkit (PLTU) dengan daya 45 MW dan beban di area RFCC. Awal mula terdapat 8 sistem pembangkit (PLTU) dengan daya 112 MW pada area *existing* yang sudah berjalan puluhan tahun, namun saat ini antara sistem tenaga listrik pada pembangkit *existing* dan RFCC belum terinterkoneksi sehingga masing-masing sistem bekerja secara *independent*. Melihat potensi tersebut dan belum adanya kajian tentang studi sistem proteksi pada interkoneksi pembangkit di perusahaan industri terkait maka hal ini menjadikan dasar dalam penulisan tugas akhir.

1.2 Rumusan Masalah

Studi ini difokuskan pada aspek yang terpenting dari suatu sistem proteksi yaitu perancangan pemodelan sistem menggunakan *software* ETAP 12.6 dan analisa pengujian sistem serta *monitoring*. Dari aspek tersebut dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja koordinasi *Relay* proteksi pada pemodelan sistem interkoneksi yang telah dibuat?
2. Bagaimana rancangan interkoneksi pemodelan sistem pembangkit (PLTU) antara *existing* dan RFCC?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem proteksi yang dirancang sebagai objek studi hanya *Relay* arus lebih pada sistem interkoneksi 11 pembangkit (PLTU) antara *existing* dan

RFCC dengan total daya 157 MW dan dalam penelitian ini mengambil korelasi pada PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap.

1.4 Tujuan Penelitian

Dengan mempertimbangkan hal-hal yang telah dijelaskan sebelumnya, pada penelitian ini difokuskan pada aspek yang penting saja. Dari hasil simulasi pemodelan ETAP 12.6 yang dirancang diharapkan diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Merancang sistem proteksi yang baik di sisi hulu dan sisi hilir pada interkoneksi pembangkit (PLTU) antara sistem *existing* dan RFCC sesuai dengan standar IEEE 242.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini terdapat manfaat yang diperoleh sebagai berikut :

1. Hasil interkoneksi pembangkit akan meningkatkan kehandalan sistem distribusi listrik.
2. Desain setelan *Relay* OCR yang tepat pada sistem interkoneksi sesuai dengan syarat koordinasi proteksi berdasarkan standar IEEE 242 tahun 2002.
3. Desain setelan *rating* dan tipe CB, CT, trafo, kabel, dan *Relay* untuk evaluasi sistem interkoneksi pembangkit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Studi literatur ini berisi tentang penelitian yang membahas evaluasi koordinasi *relay* proteksi seperti *overcurrent relay*, *ground fault relay* dan lain-lain terkait dengan sistem distribusi tenaga listrik pada suatu perusahaan industri dan analisa gangguan serta kestabilan operasi sistem tenaga listrik.

Pada penelitian dengan judul Evaluasi Koordinasi Proteksi Akibat Penambahan Pembangkit dan Rekonfigurasi Jaringan di JOB Pertamina-Petrochina *East* Jawa melalui hasil analisa dan perhitungan manual direkomendasikan *resetting pick up relay* arus lebih (*overcurrent relay*) dan *relay* arus lebih gangguan tanah (*ground fault relay*) dikarenakan data *existing* peralatan pengaman yang digunakan tidak terkoordinasi dengan baik serta pengaturan *low set* tidak sesuai dengan (*British Standar*) BISA-142-1983 dan setelan waktu instantaneous tidak sesuai *Standard IEEE 242*. [1]

Pada penelitian tentang Analisis Kestabilan Transien dan Pelepasan Beban Pada Sistem Integrasi 33 KV PT. Pertamina RU IV Cilacap akibat Penambahan Beban RFCC dan PLBC menjadikan sistem kelistrikan berubah dikarenakan perlunya penambahan sistem bus 33 kV. Maka ditetapkan standar batas kemampuan normal frekuensi, tegangan, dan sudut rotor dengan standar berdasarkan IEEE Std C37.106-2003 (Revisi dari ANSI/IEEE C37.106-1987). [2]

Pada distribusi jaringan kelistrikan di PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap merupakan hasil interkoneksi dari 8 pembangkit (PLTU) pada area *existing* dengan total daya 112 MW dan interkoneksi 3 pembangkit (PLTU) pada area RFCC dengan total daya 45 MW. Masing-masing sistem pada kedua area bekerja secara *independent* dan belum bersinergi. Interkoneksi jaringan dilakukan sebagai *loadsharing* serta meningkatkan kehandalan sistem.

2.2 Tinjauan Teori

Dalam pengerjaan penelitian ini diperlukan teori-teori pendukung sebagai bahan acuan yang akan dijelaskan sebagai berikut :

2.2.1 Tujuan Sistem Proteksi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Untuk melepas daerah yang terganggu diperlukan suatu kordinasi sistem proteksi pengaman yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem yang terganggu sehingga arus gangguan tersebut akan padam dan tidak menyebar pada peralatan sistem tenaga listrik yang lain.

Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain:

- a. Mengurangi kerusakan pada peralatan yang terganggu maupun peralatan yang dilewati arus gangguan.
- b. Mengisolir bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin dan secepat mungkin.
- c. Mencegah meluasnya gangguan ke daerah lainnya.
- d. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen.
- e. Meminimalisir bahaya bagi manusia.

2.2.2 Syarat *Relay* Proteksi

Relay pengaman harus mempunyai beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar keadaan suatu pembangkit listrik dapat terjamin dengan baik. Adapun syarat-syarat pengaman adalah sebagai berikut:

1. Selektivitas

Relay pengaman harus mempunyai selektivitas yang tinggi sebagai kemampuan untuk memilih sekaligus mengisolir daerah.

2. Kecepatan bereaksi atau waktu kerja *relay*

Waktu kerja adalah waktu pada awal mula terjadi gangguan sampai saat bekerjanya CB mengisolir daerah gangguan. Suatu *relay* pengaman harus bekerja dengan cepat pada waktu kritis pemutusan gangguan. Secara matematis, waktu operasi tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$t_{op} = t_p + t_{cb} \quad (2.1)$$

Dimana :

t_{op} adalah waktu operasi

t_p adalah waktu kerja *relay*

t_{cb} adalah waktu operasi *Circuit Breaker* ditambah dengan *Arc time*

3. Sensitivitas (kepekaan)

Sebuah *relay* pengaman yang baik harus mempunyai kepekaan kerja yang tinggi. *Relay* tersebut harus dapat bekerja sedini mungkin pada arus gangguan terkecil (*minimum fault current*) mengalir pada daerah yang akan diamankan dan tidak bekerja bila gangguan yang terjadi di luar daerah pengamanannya. Selain itu *relay* pengaman juga harus mampu membedakan antara arus gangguan dan arus normal.

4. Stabilitas

Relay pengaman diharuskan untuk mempunyai stabilitas yang tinggi dimana *relay* pengaman tersebut dituntut untuk selalu berada dalam kondisi yang baik serta kehandalan yang maksimum dalam keadaan apapun.

5. Reliabilitas (kehandalan)

Relay pengaman harus selalu dalam kondisi yang dapat diandalkan berarti *relay* pengaman harus bekerja hanya pada saat terjadi adanya gangguan. Kehandalan merupakan ketahanan alat pengamanan terhadap gangguan. Semakin kecil gangguan maka *relay* semakin handal. Kehandalan suatu *relay* ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

- a) Trafo arus atau Trafo tegangan yang tak dapat bekerja dengan baik, juga sumber DC (*Battery*) sebagai penggerak *Circuit Breaker*.
- b) Faktor manusia yang mempengaruhinya antara lain pemeliharaan, sistem instalasi, perencanaan dan lain-lain.

6. Ekonomis

Merupakan penekanan biaya pemeliharaan dan operasinal yang seminimal mungkin sehingga memungkinkan perusahaan untuk menghemat pengeluaran.

2.2.3 Komponen Sistem Proteksi

a. *Circuit Breaker* (CB)

Peralatan ini merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pengaman karena mampu memutuskan dan menghubungkan daya listrik dalam kondisi normal maupun kondisi tidak normal. Adapun kemampuan *Circuit Breaker* antara lain *breaking capacity*, *making capacity*, dan *short time capacity*.

b. *Fuse*

Fuse merupakan pemutus listrik yang sangat sederhana dan memiliki sepotong metal atau sepotong bahan yang mudah lebur. *Fuse* mempunyai fungsi yaitu sebagai pemutus arus saat terjadi hubung singkat (*short circuit*) pada penghantar maupun pada motor listrik, dimana arus yang mengalir menjadi sangat tinggi yang harus segera diputuskan karena dapat membahayakan atau mengganggu sistem kelistrikan.

c. *Trafo Instrument*

Pada suatu rangkaian pengamanan trafo instrumen adalah alat perasa pertama yang menerima adanya gangguan yang kemudian isyarat yang dirasakan dikirim ke peralatan pengamanan untuk diubah menjadi sinyal pemutusan pada pemutus daya (*circuit breaker*) atau sebagai peringatan awal semata.

Trafo instrument terdiri dari dua jenis yaitu:

1. *Current Transformer (CT) / Trafo Arus*

Suatu perangkat listrik yang berfungsi menurunkan arus yang besar menjadi arus dengan ukuran yang lebih kecil. CT digunakan dalam pengukuran arus beban atau arus gangguan yang sangat besar dan bertegangan tinggi. Karakteristik CT ditandai dengan perbandingan antara arus yang dilewatkan melalui sisi primer dengan arus yang dilewatkan melalui sisi sekunder.

2. *Potential Transformer (PT) / Trafo Tegangan*

Suatu peralatan listrik yang berfungsi menurunkan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah yang sesuai dengan setting *relay*. Trafo ini juga memiliki angka perbandingan lilitan atau tegangan pada sisi primer dan sekunder yang menunjukkan kelasnya.

d. *DC System Power Supply*

Pencatu daya cadangan yang terdiri dari *battery charge* sebagai peralatang yang mengubah tegangan AC menjadi DC dan *battery* sebagai penyimpan cadangan daya. Sebagai peralatan proteksi *DC system power supply* merupakan peralatan yang sangat vital karena jika terjadi gangguan dan kontak telah terhubung maka *DC system power supply* akan bekerja yang menyebabkan CB akan membuka.

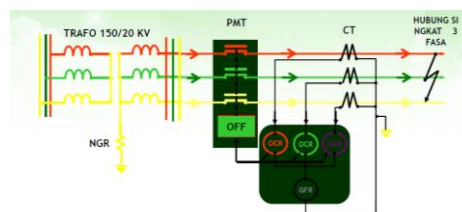
e. *Relay*

Relay berasal dari teknik telegrafi dimana sebuah *coil* di *energize* oleh arus lemah dan *coil* ini menarik *armature* untuk menutup kontak. *Relay* merupakan jantung dari proteksi sistem tenaga listrik dan telah berkembang menjadi peralatan yang rumit. *Relay* dibedakan dalam dua kelompok:

1. Komparator digunakan untuk mendeteksi dan mengukur kondisi *abnormal* dan membuka atau menutup.
2. *Auxiliary relay* dirancang untuk digunakan di *auxiliary circuit* yang dikendalikan oleh *relay* komparator dan membuka atau menutup kontak lainnya (umumnya berarus kuat).

2.2.4 OCR (*Over Current Relay / Relay Arus Lebih*)

Relay arus lebih (OCR) merupakan peralatan yang bekerja apabila terdapat arus yang mengalir melebihi settingan standarnya untuk melindungi peralatan listrik lainnya apabila terjadi arus lebih akibat adanya penambahan beban dan adanya gangguan hubung singkat (2 fasa dan 3 fasa) di jaringan distribusi listrik. Prinsip kerja pada dasarnya *relay* arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis *definite time* atau *invers time* dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih. Berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan *relay*, baik karena gangguan hubung singkat atau *overload* untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya seperti yang tertera pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 OCR Bekerja Memerintahkan Trip PMT

Setting relay OCR (*Overcurrent relay*)

Penyetelan *relay* OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus *setting* untuk *relay* OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{\text{set,primer}} = 1,05 \times I_{\text{nominal}} \quad (2.2)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer. Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat ditentukan pada *relay* OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder trafo.

$$I_{\text{set,sekunder}} = I_{\text{set,primer}} \times \frac{1}{\text{rasio CT}} \quad (2.3)$$

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai TMS. Rumus untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desain pabrik pembuatan *relay*. Pada Tabel 2.1 ditunjukkan karakteristik *relay* arus lebih (*overcurrent*) berdasarkan IDMT (*Inverse Definite Minimum Time*) pada standar IEC 60255.

Tabel 2.1 karakteristik relay berdasarkan waktu

| Karakteristik <i>Relay</i> | Standar IEC 60255 |
|---------------------------------------|---|
| <i>Standard Inverse</i> (SI) | $T = \text{TMS} \times \frac{0.14}{I_r^{0.02-1}}$ |
| <i>Very Inverse</i> (VI) | $T = \text{TMS} \times \frac{13.5}{I_r-1}$ |
| <i>Extremely Inverse</i> (EI) | $T = \text{TMS} \times \frac{80}{I_r^2-1}$ |
| <i>Long time standart earth fault</i> | $T = \text{TMS} \times \frac{120}{I_r-1}$ |

Keterangan :

TMS = *Time Multiple Setting* (karakteristik kerja *relay*)

T = Waktu kerja *relay* (detik)

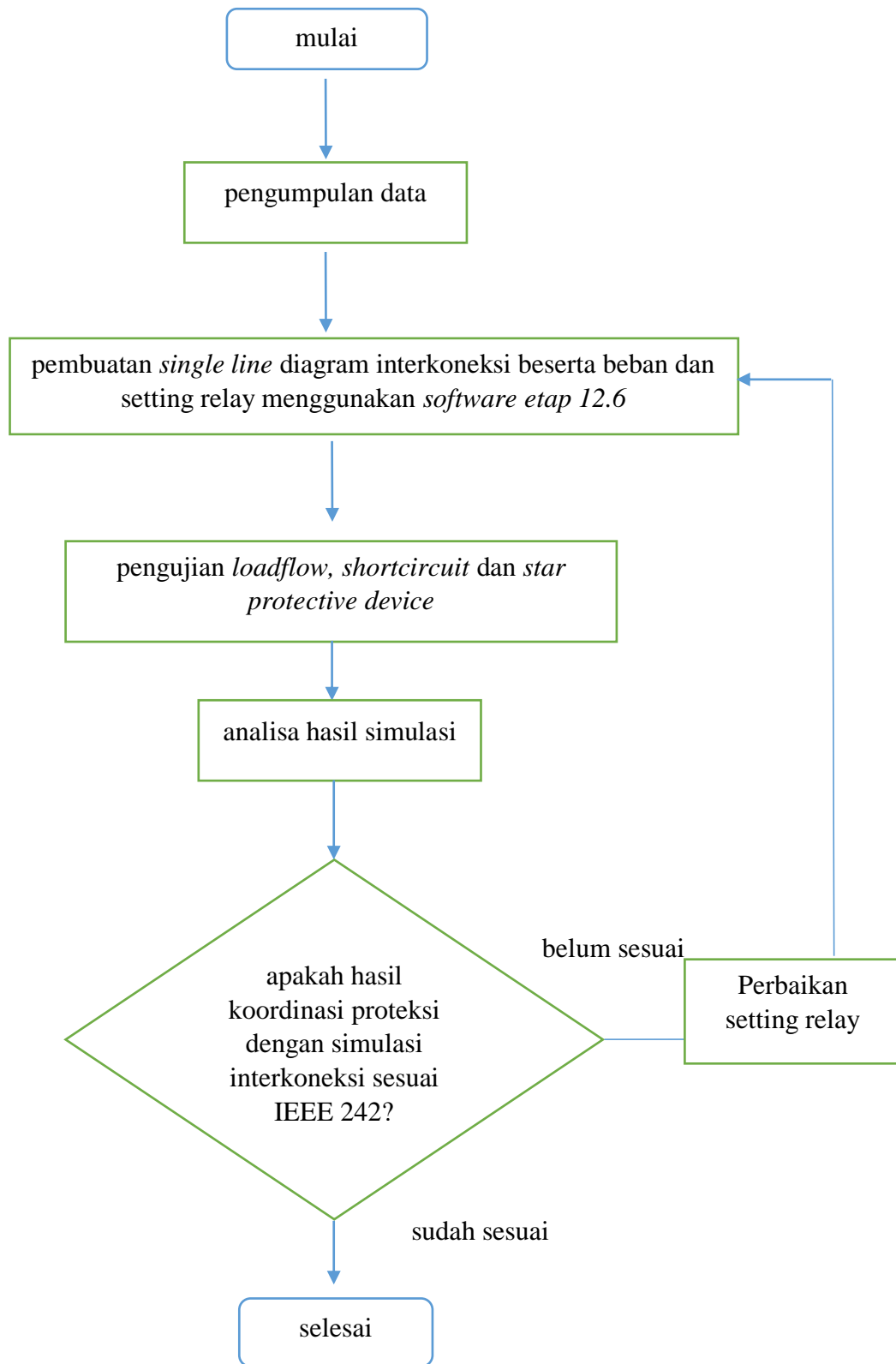
$I_{r(\text{setting})}$ = Arus nominal *setting relay* (Amp)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Pada tahapan ini diperoleh data asli dan rahasia PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap dengan proses identifikasi *plant* mulai dari data pembangkitan, beban serta serangkaian *one line* diagram pembangkit *existing* dan RFCC akan diimplementasikan kedalam *software* ETAP 12.6. Perancangan terbagi menjadi tiga tahap, tahap pertama yaitu merancang *single line* diagram interkoneksi 8 pembangkit *existing*, tahap kedua yaitu merancang *single line* diagram interkoneksi 3 pembangkit RFCC, dan tahap ketiga yaitu merancang interkoneksi 11 seluruh pembangkit. Pada tahapan penelitian akan lebih dijelaskan pada diagram alir yang tertera pada Gambar 3.1. Data kapasitas generator ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan spesifikasi transformator ditunjukkan pada tabel 3.2, spesifikasi trafo arus (CT) ditunjukkan pada tabel di lampiran, spesifikasi ukuran dan jenis kabel ditunjukkan pada tabel di lampiran, spesifikasi *circuit breaker* ditunjukkan pada tabel di lampiran, spesifikasi data beban ditunjukkan pada tabel di lampiran dan jenis relay arus lebih yang digunakan serta *single line diagram* sistemelistrikanya. Data ini yang nantinya akan diinput dan diolah pada bantuan perangkat lunak ETAP 12.6. sehingga dapat dilakukan analisis data berupa analisis aliran daya (*loadflow*), analisis gangguan hubung singkat (*shortcircuit*), dan analisis koordinasi kinerja proteksi menggunakan menu *star protective device*.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metode Penelitian

Tabel 3.1 Data Generator

| No. | Generator | Kapasitas daya (MW) | Tegangan (kV) | PF |
|-----|-----------------------|------------------------|------------------|------|
| 1 | Gen 1 <i>existing</i> | 8 | 13.8 | 0.85 |
| 2 | Gen 2 <i>existing</i> | 8 | 13.8 | 0.85 |
| 3 | Gen 3 <i>existing</i> | 8 | 13.8 | 0.85 |
| 4 | Gen 4 <i>existing</i> | 8 | 13.8 | 0.85 |
| 5 | Gen 5 <i>existing</i> | 20 | 13.8 | 0.85 |
| 6 | Gen 6 <i>existing</i> | 20 | 13.8 | 0.85 |
| 7 | Gen 7 <i>existing</i> | 20 | 13.8 | 0.85 |
| 8 | Gen 8 <i>existing</i> | 20 | 13.8 | 0.85 |
| 9 | Gen 9 rfcc | 15 | 13.8 | 0.85 |
| 10 | Gen 10 rfcc | 15 | 13.8 | 0.85 |
| 11 | Gen 11 rfcc | 15 | 13.8 | 0.85 |

Tabel 3.2 Data *Transformator*

| No. | Lokasi | Tegangan Primer (kV) | Tegangan Sekunder (kV) | Rating (mVA) |
|-----|--------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------|
| 1 | Trafo T1 <i>existing</i> | 13,8 | 3,45 | 165 |
| 2 | Trafo T2 <i>existing</i> | 13,8 | 3,45 | 174 |
| 3 | Trafo T3 <i>existing</i> | 13,8 | 3,45 | 5 |
| 4 | Trafo T4 <i>existing</i> | 3,45 | 0,4 | 38,325 |
| 5 | Trafo T5 <i>existing</i> | 3,45 | 0,4 | 57,8 |
| 6 | Trafo T1 rfcc | 13,8 | 3,45 | 45,5 |

| | | | | |
|---|---------------|------|------|------|
| 7 | Trafo T2 rfcc | 13,8 | 3,45 | 50 |
| 8 | Trafo T3 rfcc | 3,45 | 0,4 | 19,7 |
| 9 | Trafo T4 rfcc | 3,45 | 0,4 | 19,7 |

3.2 Perancangan Pemodelan Sistem

Seperti yang dijelaskan pada Bab sebelumnya adapun tujuan penelitian ini merupakan studi untuk merancang pemodelan interkoneksi dan mengevaluasi kinerja sistem proteksi pada sisi hulu dan hilir dari sebuah sistem distribusi kelistrikan agar menjadikan rekomendasi rancangan pemodelan interkoneksi yang baik serta meningkatkan kontinuitas daya pada sektor tenaga listrik. Perancangan tahap pertama memiliki tiga bagian pokok yaitu merancang *single line* diagram interkoneksi 8 pembangkit *existing* sesuai dengan aslinya dengan memasukan nilai *rating* generator, trafo, beban dan *relay* proteksi serta menjalankan *loadflow* sebagai bukti bahwa sistem tenaga listrik dapat berjalan secara normal. Perancangan tahap kedua memiliki dua bagian pokok yaitu merancang bentuk *single line* diagram interkoneksi 3 pembangkit RFCC sesuai dengan aslinya dan memasukan *rating* generator, trafo, beban dan *relay* proteksi. Tahap ketiga merupakan tahapan tersulit dikarenakan perlunya ketelitian dan ketepatan pada penginputan *rating* pada *setting* trafo, beban dan *relay* proteksi agar aliran daya pada pemodelan sistem dapat berjalan dan diketahui hasilnya. Selain itu dibutuhkan konsentrasi dan logika berpikir yang baik agar dapat merancang interkoneksi sistem tenaga listrik serta mengevaluasi sistem proteksi arus lebih yang sesuai dengan tujuan penelitian.

3.2.1 Perancangan *Single Line Diagram Existing*

Pada tahap ini penyusunan *single line* diagram diawali dengan penginputan 8 generator *swing* dengan pembagian dua area yaitu area pertama dengan 4 generator dengan masing-masing kapasitas 8 MW dan 4 generator dengan kapasitas masing-masing 20 MW. Kemudian dari interkoneksi pembangkit tersebut menghasilkan tegangan 13,8 kV yang kemudian disalurkan melalui 2 bus dan 3 kabel transmisi lalu diturunkan tegangannya menjadi 3,45 kV menggunakan 3 trafo *step down*. Diantara trafo *step down* dan saluran transmisi terdapat *current*

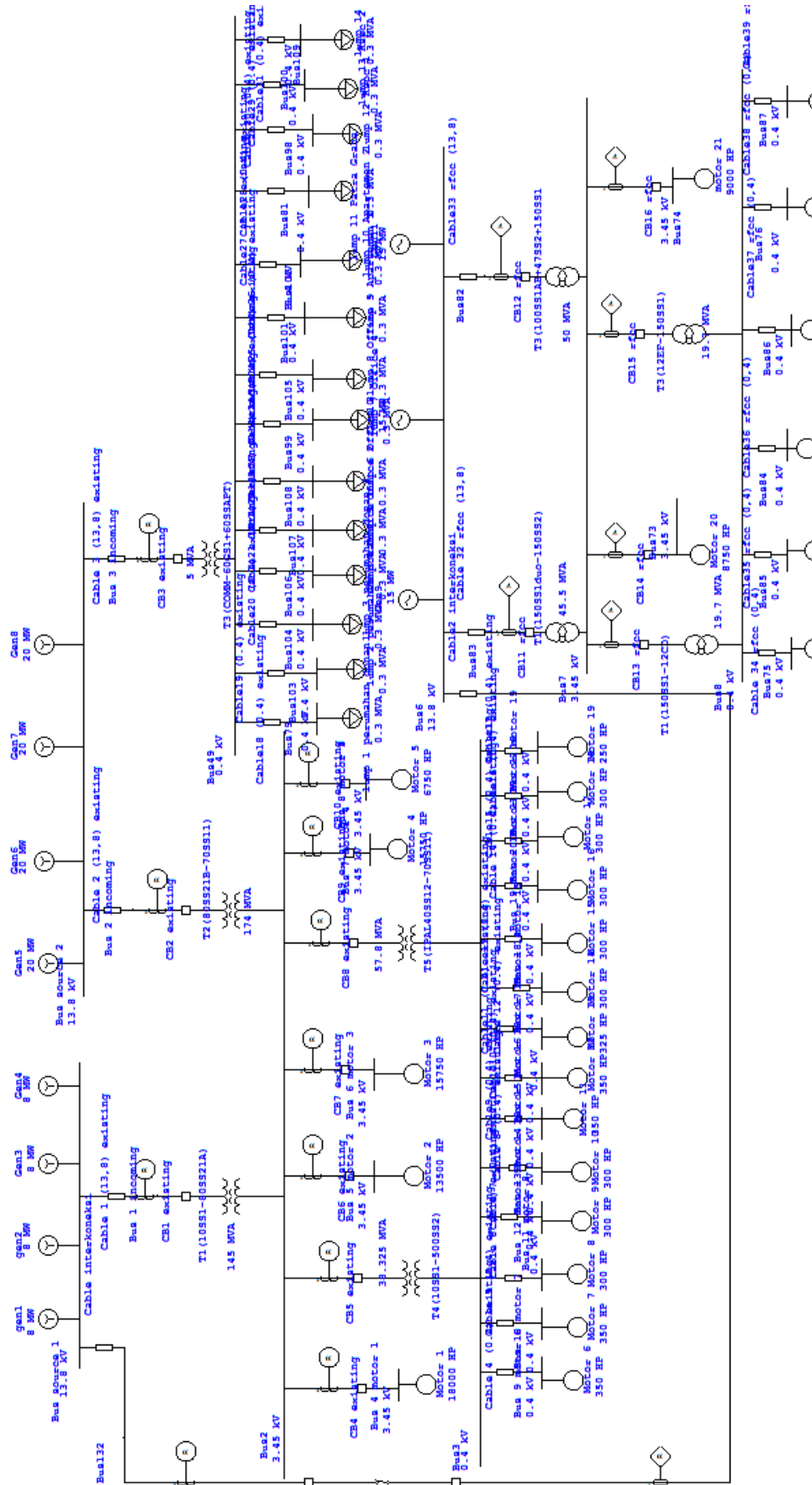
transformer dan *relay OCR* serta *circuit breaker* yang merupakan koordinasi proteksi sistem distribusi listrik pada sisi hulu. Kemudian pada saluran bus 3,45 kV diberikan beban motor yang disederhanakan menjadi 5 motor dengan seperangkat sistem koordinasi proteksi pada beban terdekat menggunakan relay OCR, *circuit breaker*, dan *current transformer*. Kemudian diturunkan tegangannya melalui 2 trafo step down 3,45/0,4 kV yang dibebani total penyederhanaan menjadi 14 motor dan 14 lump dengan rincian pembebanan pada perumahan, perkantoran, operasional pabrik, dan rumah sakit. Pada lampiran akan ditunjukkan bentuk *single line* diagram sesuai aslinya sebelum disederhanakan dan sebelum direvisi karena mengalami kegagalan *loadflow*. Penginputan *rating* generator, kabel, CB, CT, OCR, *lump* dan motor merupakan kombinasi antara data real time di lapangan dan asumsi perubahan disebabkan karena penyederhanaan sistem dan penambahan beban serta pembangkit. Banyak kendala yang dijumpai saat proses perancangan *single line* diagram ini sehingga membutuhkan waktu yang lumayan lama sampai akhirnya rancangan *single line* diagram dapat disederhanakan dan *loadflow* dapat dijalankan membuktikan bahwa sistem bekerja normal. Dan pada gambar di lampiran akan ditunjukkan bentuk *single line* diagram *existing* yang sudah disederhanakan.

3.2.2 Perancangan *Single Line* Diagram RFCC

Pada tahap ini penyusunan *single line* diagram diawali dengan penginputan 3 generator swing dengan kapasitas masing-masing 15 MW. Kemudian dari interkoneksi pembangkit tersebut menghasilkan tegangan 13,8 kV yang kemudian disalurkan melalui bus dan 2 kabel transmisi lalu diturunkan tegangannya menjadi 3,45 kV menggunakan 2 trafo step down. Diantara trafo step down dan saluran transmisi terdapat *current transformer* dan *relay OCR* serta *circuit breaker* yang merupakan koordinasi proteksi sistem distribusi listrik pada sisi hulu. Kemudian pada saluran bus 3,45 kV diberikan beban motor yang disederhanakan menjadi 2 motor dengan seperangkat sistem koordinasi proteksi pada sisi beban terdekat menggunakan relay OCR, *circuit breaker*, dan *current transformer*. Kemudian diturunkan tegangannya melalui 2 trafo step down 3,45/0,4 kV yang dibebani total penyederhanaan menjadi 6 motor. Pada lampiran ditunjukkan gambar *single line* diagram yang disederhanakan dan *loadflow* dapat dijalankan membuktikan bahwa sistem bekerja normal.

3.2.3 Perancangan *Single Line Diagram* Interkoneksi

Banyak kendala yang dijumpai saat proses perancangan *one line* diagram ini sehingga membutuhkan waktu yang lumayan lama sampai akhirnya rancangan *one line* diagram dapat disederhanakan dan *loadflow* jalan membuktikan bahwa sistem bekerja normal. Dan pada gambar 3.2 akan ditunjukkan bentuk *one line* diagram interkoneksi yang sudah disederhanakan serta *loadflow* yang berhasil jalan. Pada saluran interkoneksi terdapat perangkat *switchgear* untuk menghubungkan kedua sistem dengan saluran kabel transmisi di sisi hulu kemudian *circuit breaker* diantara kedua sisi *switchgear* tersebut. Interkoneksi dilakukan untuk *back up* sistem distribusi kelistrikan yang bertujuan memenuhi prinsip reliabilitas sehingga akan meminimalisir resiko akan kegagalan sistem kelistrikan (blackout) dan menjaga kestabilan aliran daya sebagai *back up* sistem ketika terdapat perawatan berkala pada salah satu atau lebih peralatan distribusi primer (generator dan trafo). Pada rancangan sistem interkoneksi *one line* diagram ini merupakan penyederhaan dari sistem sesungguhnya namun tetap mengacu pada parameter sesuai dengan sistem distribusi kelistrikan yang sebenarnya. Peralatan dan *instrument* yang mengalami penyederhaan meliputi bus bar, *transformator*, *relay* OCR, kabel transmisi, *circuit breaker*, serta beban.



Gambar 3.2 SLD Interkoneksi Distribusi Pembangkit

3.3 Proses Simulasi ETAP

Setelah semua data yang dibutuhkan diinput pada *software etap* 12.6, kemudian untuk mengetahui besar nilai arus nominal pada sistem saat pembebanan maksimum dengan cara menggunakan bantuan perintah *Load Flow Analysis* / aliran daya. Untuk mengetahui besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa digunakan bantuan perintah *Short Circuit Analysis* / analisis hubung singkat. Untuk membuat simulasi koordinasi kinerja relai proteksi arus lebih (OCR) maka menggunakan perintah *Star Protective Device Coordination*, dengan menggunakan analisis ini kita dapat mengetahui koordinasi relai proteksi OCR setelah diberi gangguan pada sisi hulu (3,45 kV) dan pada sisi hilir (0,4 kV). Gangguan diberikan pada beban motor dikarenakan sering terjadi kerusakan. Karakteristik relai proteksi dimuat dalam sebuah grafik kurva TCC (*Time Current Characteristic*). Grafik TCC adalah Gambar yang menunjukkan hubungan antara arus dalam fenomena elektrik seperti starting motor, titik rusak peralatan, kurva pengamanan, dan lainnya. Hubungan antara komponen-komponen tersebut dipresentasikan dalam hubungan arus dan waktu. Pada pengisian setting relay berdasarkan standar ANSI pada *existing* dan IEC pada RFCC begitupun standar keseluruhan peralatan oprasional pada PT. Pertamina (Persero) RU IV Cilacap. Untuk sistem distribusi listrik nya menggunakan *double ended secondary selective radial system* dengan saluran kabel bawah tanah. Dari serangkaian proses perancangan pemodelan sistem sampai dengan pengujian sistem proteksi akan dihasilkan koordinasi kinerja sistem proteksi pada interkoneksi pembangkit dan dievaluasi agar memenuhi standar IEEE 242.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian *Loadflow* (Aliran Daya)

Studi analisa aliran daya / *Load Flow Analysis* merupakan perintah yang digunakan untuk mengetahui besar daya yang dibangkitkan sistem, jumlah daya yang di gunakan oleh beban, *rating* tegangan dan rugi-rugi daya dari sistem. Pada studi aliran daya ini dapat diketahui besar daya dari sistem mulai dari daya nyata (Watt), daya semu (KVA), dan daya reaktif (KVAR). Namun dengan menggunakan studi aliran daya ini juga dapat diketahui besar arus nominal (In) pada sistem saat semua beban berada pada kondisi operasi nominal tertera pada Tabel di lampiran. Arus (In) digunakan untuk menghitung besar arus pickup dan waktu kerja *relay* pada saat setting koordinasi *Overcurrent Relay* (OCR) dilakukan. Hasil studi aliran daya dengan data yang ditampilkan berupa besar arus nominal pada sistem interkoneksi distribusi kelistrikan.

Pada awal tahapan ini dilakukan pengujian aliran daya pada interkoneksi 8 pembangkit kemudian pada tahap kedua dilakukan aliran daya pada interkoneksi 3 pembangkit dan pada tahap ketiga simulasi loadflow untuk interkoneksi keseluruhan. Pada tabel 4.1 merupakan hasil laporan interkoneksi operasional dari data generator.

Tabel 4.1. *Report* hasil interkoneksi generator

| Lokasi | Rating | MW | Mvar | Amp | %PF | %generation |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | MW | | | | | |
| Gen 1 | 8 | 6.696 | 2.648 | 301.3 | 92.99 | 83.7 |
| Gen 2 | 8 | 6.696 | 2.648 | 301.3 | 92.99 | 83.7 |
| Gen 3 | 8 | 6.696 | 2.648 | 301.3 | 92.99 | 83.7 |
| Gen 4 | 8 | 6.696 | 2.648 | 301.3 | 92.99 | 83.7 |
| Gen 5 | 20 | 8.789 | 3.782 | 400.3 | 91.86 | 43.9 |
| Gen 6 | 20 | 8.789 | 3.782 | 400.3 | 91.86 | 43.9 |
| Gen 7 | 20 | 8.789 | 3.782 | 400.3 | 91.86 | 43.9 |

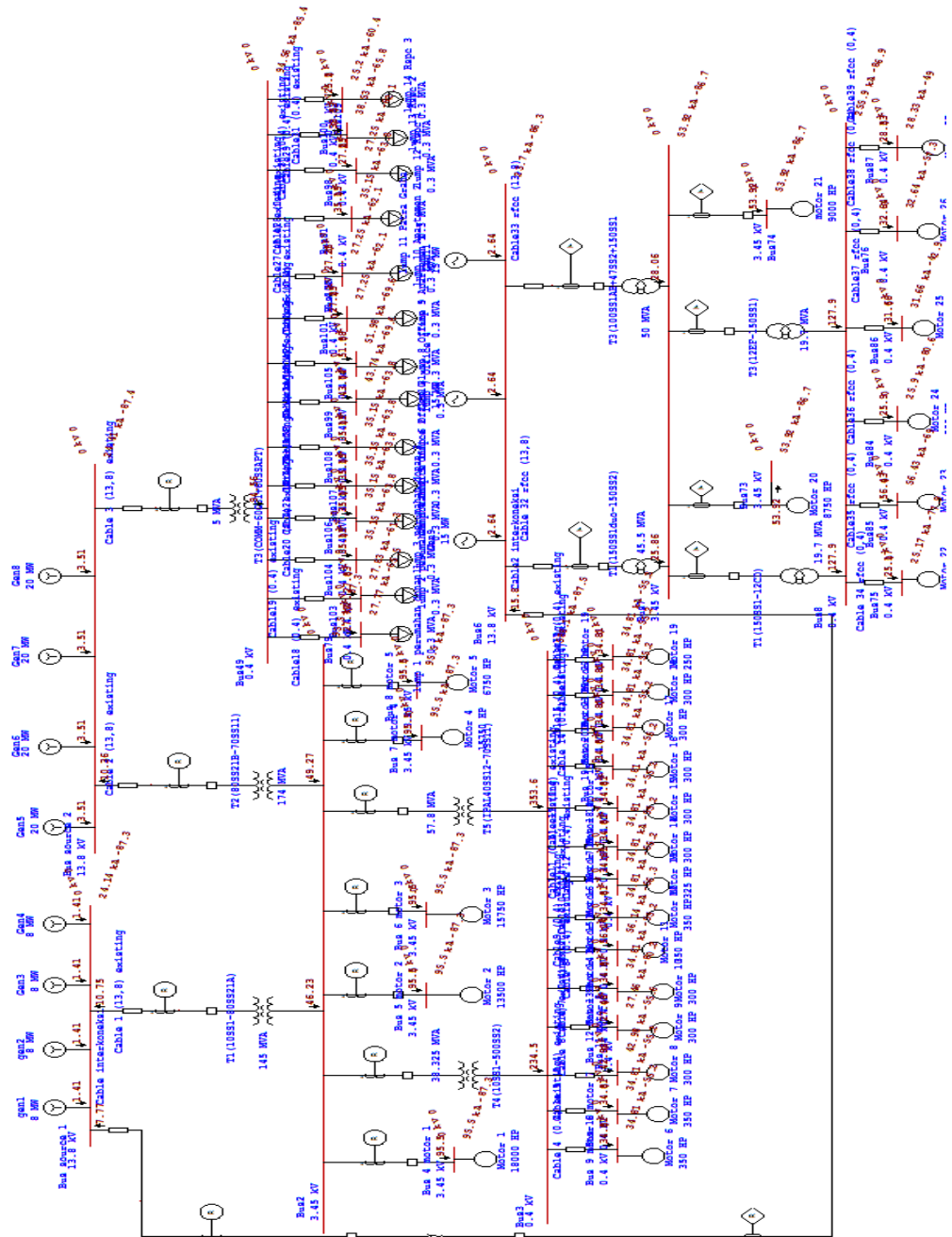
| | | | | | | |
|--------|----|-------|-------|-------|-------|------|
| Gen 8 | 20 | 8.789 | 3.782 | 400.3 | 91.86 | 43.9 |
| Gen 9 | 15 | 5.034 | 2.084 | 227.9 | 92.4 | 33.6 |
| Gen 10 | 15 | 5.034 | 2.084 | 227.9 | 92.4 | 33.6 |
| Gen 11 | 15 | 5.034 | 2.084 | 227.9 | 92.4 | 33.6 |

4.1.1 Pengujian *Loadflow* interkoneksi

Setelah parameter input nilai *setting* dimasukan kemudian *software* ETAP akan mengevaluasi aliran daya pada sistem apakah sudah sesuai atau belum. Apabila *loadflow* menyatakan error berarti terdapat parameter yang kurang tepat atau dapat diidentifikasi pada bagian yang ditunjukkan dan apabila berhasil maka akan terdapat tanda nilai drop tegangan pada masing-masing bus serta terdapat tanda merah marginal menunjukkan parameter pada sistem yang bekerja dengan normal seperti ditunjukkan gambar di lampiran. Pada rancangan sebelumnya dengan kondisi single line sebelum disederhanakan hasilnya menunjukkan error yang tak kunjung usai seperti pada lampiran. Nilai input parameter dibuat *default* sesuai dengan *plant* asli pada settingan PT Pertamina (Persero) RU IV Cilacap.

Pada saat memasukan parameter ke dalam setting trafo dan memasukan input data pembebanan serta *default* settingan *relay* sesuai *plant* aslinya kemudian dijalankan *loadflow* sebagai pembuktian sistem bekerja normal. Pada gambar di lampiran ditunjukkan bahwa *loadflow* pada *RFCC* sistem distribusi tenaga listrik interkoneksi 3 pembangkit berhasil dan bekerja secara normal. Pada lampiran ditunjukkan bagian yang error ketika menggunakan rancangan yang sebelum disederhanakan menunjukkan *loadflow* tidak berjalan maka sistem distribusi listrik gagal dan sistem tidak normal.

Pada bagian ini hasil interkoneksi pembangkit *existing* dan *RFCC* di interkoneksi sehingga saling *energize*. Selain itu juga penyesuaian dari settingan relay serta rating pembangkitan diidentifikasi sehingga *loadflow* berjalan normal tanpa menghasilkan *report error*. Pada Gambar di lampiran ditunjukkan keterangan info *general loadflow* secara keseluruhan. Pada Gambar 4.1 akan ditampilkan hasil pengujian *loadflow* interkoneksi jaringan tenaga listrik pada keseluruhan sistem kelistrikan.



Gambar 4.2 Pengujian *Shortcircuit* Interkoneksi Keseluruhan Sistem

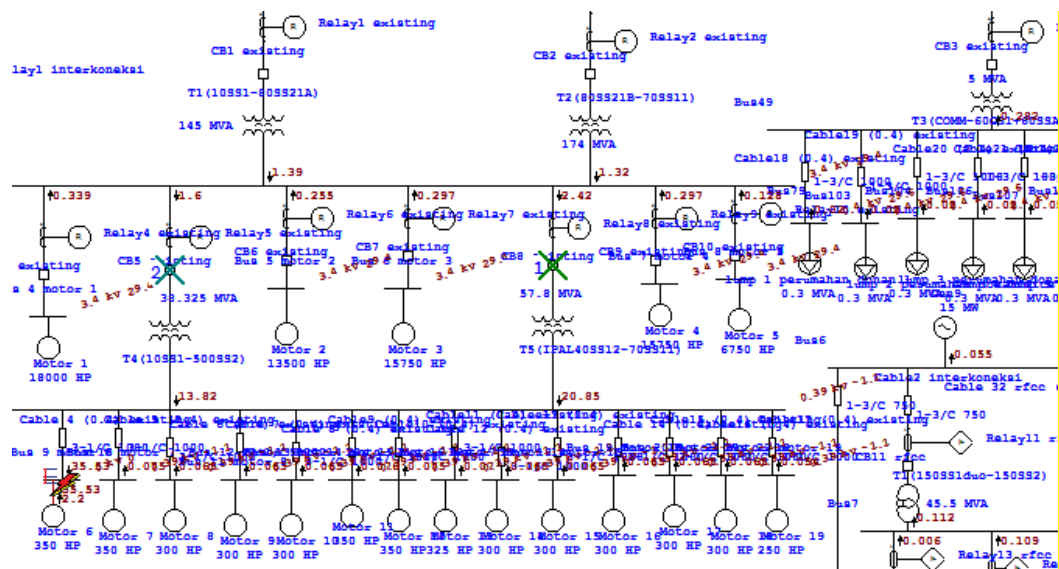
4.3 Pengujian *Star Protective Device*

Pada bagian ini membahas dan menganalisis tentang prinsip koordinasi kinerja dari sistem proteksi rancangan simulasi, yang akan diuji banding dengan prinsip kerja sistem proteksi yang sebenarnya. Beberapa bagian pada yang dimodelkan pada bentuk simulasi adalah arus lebih. Simulasi tersebut dilakukan dengan *default setting* menyesuaikan dengan arus nominal dan data asli. Pada

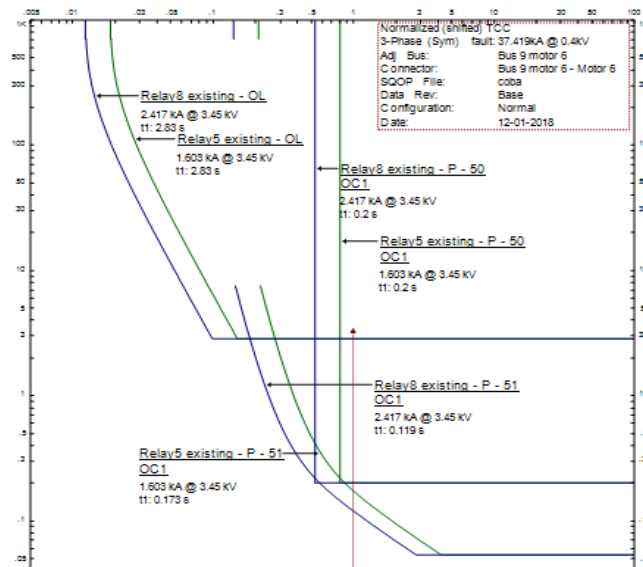
pengujian ini dilakukan di dua lokasi pengujian gangguan yaitu daerah sisi hilir pada tegangan 0,4 kV dan pada daerah sisi hulu pada tegangan 3,45 kV. Kemudian dari pengujian gangguan tersebut akan didapatkan kurva koordinasi proteksi arus lebih untuk dievaluasi lebih lanjut.

4.3.1 Pengujian Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hilir Distribusi *Existing*

Pengujian ini difokuskan pada jaringan tenaga listrik interkoneksi dari 11 pembangkit (PLTU) yang telah menyesuaikan *default setting* koordinasi sistem proteksinya dengan skematis gangguan arus lebih pada beban motor induksi 6 di sisi hilir distribusi tegangan 0,4 kV area *existing*. Pada Gambar 4.4 ditunjukkan hasil pengujian koordinasi kinerja relay proteksi pada sisi hilir pembangkit *existing*. Setelah dilakukan pengujian didapatkan bahwa urutan awal mula kerja trip CB 8 lalu CB 5 Trip dua kali.



Gambar 4.3 Pengujian Koordinasi Relay OCR Pada Sisi Hilir Area



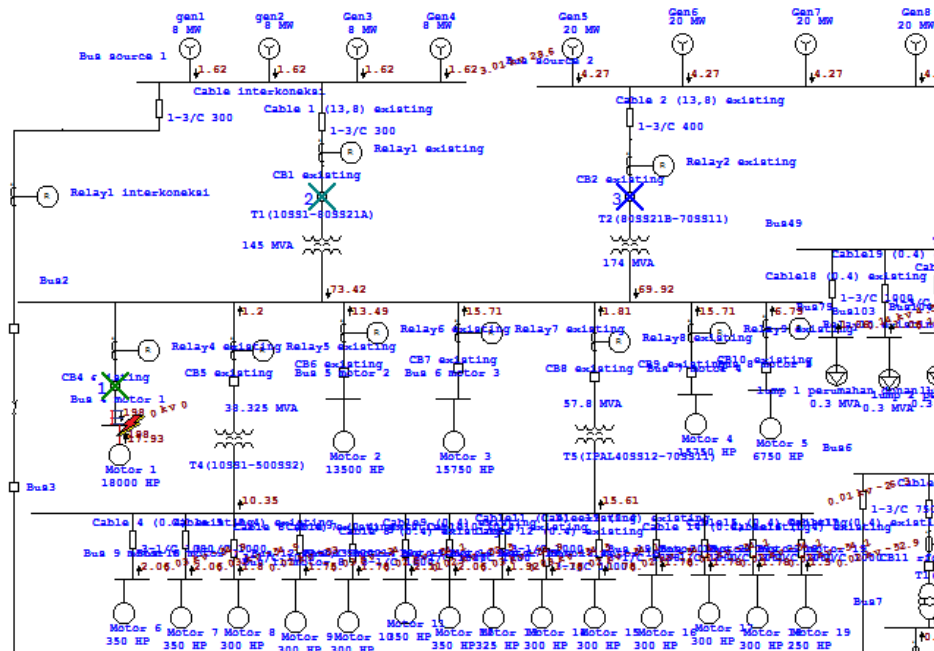
Gambar 4.4 Kurva Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hilir Area Existing

Pada Gambar 4.4 ditampilkan kurva koordinasi kinerja relay OCR yang mendeteksi gangguan pada beban motor 6 dengan rating 350 HP pada sisi hilir tegangan 0,4 kV area existing mengakibatkan relay OCR 8 kemudian relay 5 dan relay 5 lagi bekerja untuk trip secara berurutan sehingga gangguan terisolir dengan baik dan tidak menyebabkan kerusakan menyebar pada jaringan distribusi lainnya. Pada relay 5 overcurrent (50) dengan tipe GE 345 dan rasio CT 600 : 5 menghasilkan $instantaneous = 2.162 (0.05 \text{ s.d. } 20 \times CT \text{ Sec})$ dengan $time \ delay = 0.2 \text{ s}$ dan relay 5 ground fault overcurrent (51p) standar ANSI normal inverse dengan nilai pickup nilai 0.568 (0.04 s.d. 20 CT sec) dihasilkan $time \ dial \ 0.4 \text{ s}$. Sedangkan pada relay 8 overcurrent (50) dan relay 8 ground fault overcurrent (51p) menggunakan tipe GE 345 dengan CT rasio serta $time \ delay$ dan $time \ dial$ sama dengan relay 5 sebelumnya.

4.3.2 Pengujian Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hulu Distribusi Existing

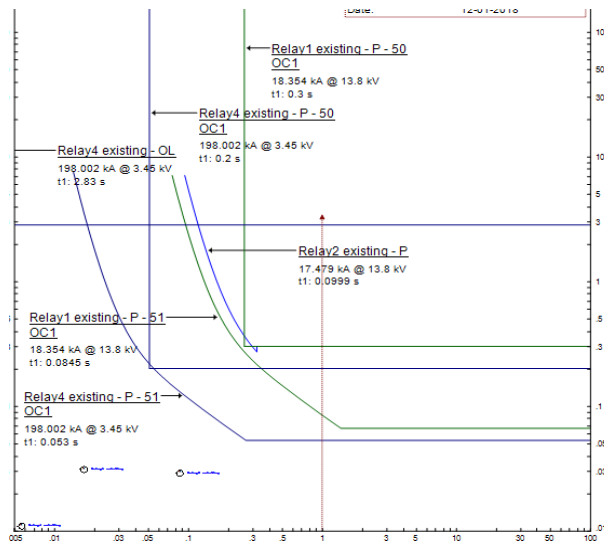
Pengujian ini difokuskan pada jaringan tenaga listrik interkoneksi dari 11 pembangkit (PLTU) yang telah menyesuaikan default setting koordinasi sistem proteksinya dengan skematis gangguan arus lebih pada beban motor induksi 1 di sisi hilir distribusi tegangan 3,45 kV area existing. Pada gambar 4.6 ditunjukkan hasil pengujian koordinasi kinerja relay proteksi pada sisi hulu pembangkit

existing. Setelah dilakukan pengujian didapatkan bahwa urutan awal mula kerja trip CB 4 lalu CB 1 trip dan CB 2 trip.



Gambar 4.5 Pengujian Koordinasi Relay OCR Pada Sisi Hulu Area Existing

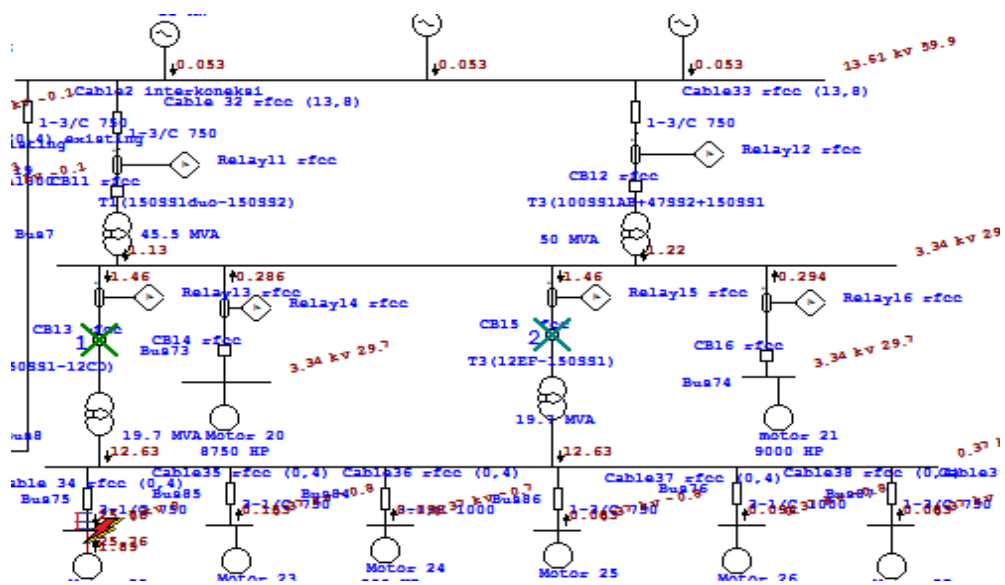
Pada Gambar 4.6 merupakan kinerja koordinasi proteksi pada relay 4, relay 1 dan relay 2 bekerja trip secara berurutan sehingga gangguan terisolir dengan baik tidak menyebar dan menyebabkan kerusakan fatal pada jaringan lainnya. Gangguan diberikan pada beban motor induksi 3 fasa dengan rating 18.000 HP pada tegangan 3,45 kV. Pada relay 4 *overcurrent* (50) dengan tipe GE 345 dengan rasio CT 600 : 5 menghasilkan *instantaneous* = 16.95 *normal inverse* (0.05 s.d. 20 x CT Sec) dengan *time delay* = 0.2 s dan relay 4 *ground fault overcurrent* (51p) standar *ANSI normal inverse* dengan nilai pickup nilai 4.45 (0.04 s.d. 20 CT sec) dihasilkan *time dial* 0.4 s. Sedangkan pada relay 1 *overcurrent* (50) dan relay 1 *ground fault overcurrent* (51p) menggunakan tipe GE 489 *normal inverse* dengan pickup 1.265 (0.15 s.d. 20 x CT sec) dengan CT rasio 1000 : 5 dan *time dial* 0.5 serta *instantaneous* 4.82 dihasilkan *time delay* 0,3. Sedangkan pada relay 2 *overcurrent* (50) dan relay 2 *ground fault overcurrent* (51p) menggunakan tipe GE 489 *normal inverse* dengan pickup 1.495 (0.15 s.d. 20 x CT sec) dengan CT rasio 1000 : 5 dan *time dial* 0.5 serta *instantaneous* 5.698 dengan *time delay* 0,3.



Gambar 4.6 Kurva Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hulu Area Existing

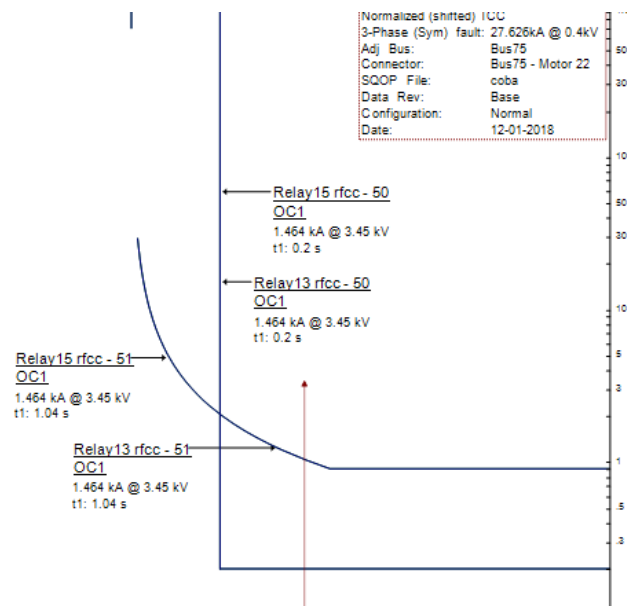
4.3.3 Pengujian Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hilir Distribusi RFCC

Pengujian ini difokuskan pada jaringan tenaga listrik interkoneksi dari 11 pembangkit (PLTU) yang telah menyesuaikan *default setting* koordinasi sistem proteksinya dengan skematis gangguan arus lebih pada beban motor induksi 22 di sisi hilir distribusi tegangan 0,4 kV area RFCC. Pada gambar 4.8 ditunjukkan hasil pengujian koordinasi kinerja relay proteksi pada sisi hulu pembangkit area RFCC. Setelah dilakukan pengujian didapatkan bahwa urutan awal mula kerja trip CB 13 lalu CB 15 trip dan CB 13 kembali trip.



Gambar 4.7 Pengujian Koordinasi Relay OCR Pada Sisi Hilir Area RFCC

Pada Gambar 4.8 merupakan kinerja koordinasi proteksi pada relay 13 dan relay 15 bekerja trip secara berurutan sehingga gangguan terisolir dengan baik tidak menyebar dan menyebabkan kerusakan fatal pada jaringan lainnya. Gangguan diberikan pada beban motor induksi 3 fasa dengan rating 300 HP pada tegangan 0,4 kV. Pada relay 13 *overcurrent* (50) dengan tipe ALSTOM P125 dengan rasio CT 600 : 5 menghasilkan *instantaneous* = 0.682 normal inverse (0.002 s.d. 1 x CT Sec) dengan *time delay* = 0.2 s dan relay 13 *ground fault overcurrent* (51p) IEC *standard inverse* dengan nilai *pickup* 0.179 (0.002 s.d. 1 CT sec) dengan *time dial* 0.4 s. Sedangkan pada relay 15 *overcurrent* (50) dan relay 15 *ground fault overcurrent* (51p) menggunakan tipe ALSTOM P125 IEC *Standard inverse* dengan nilai *pickup* 0.179 (0.002 s.d. 1 x CT sec) dengan CT rasio 600 : 5 dan *time dial* 0.4 serta *instantaneous* 0,682 dengan *time delay* 0,2 s.

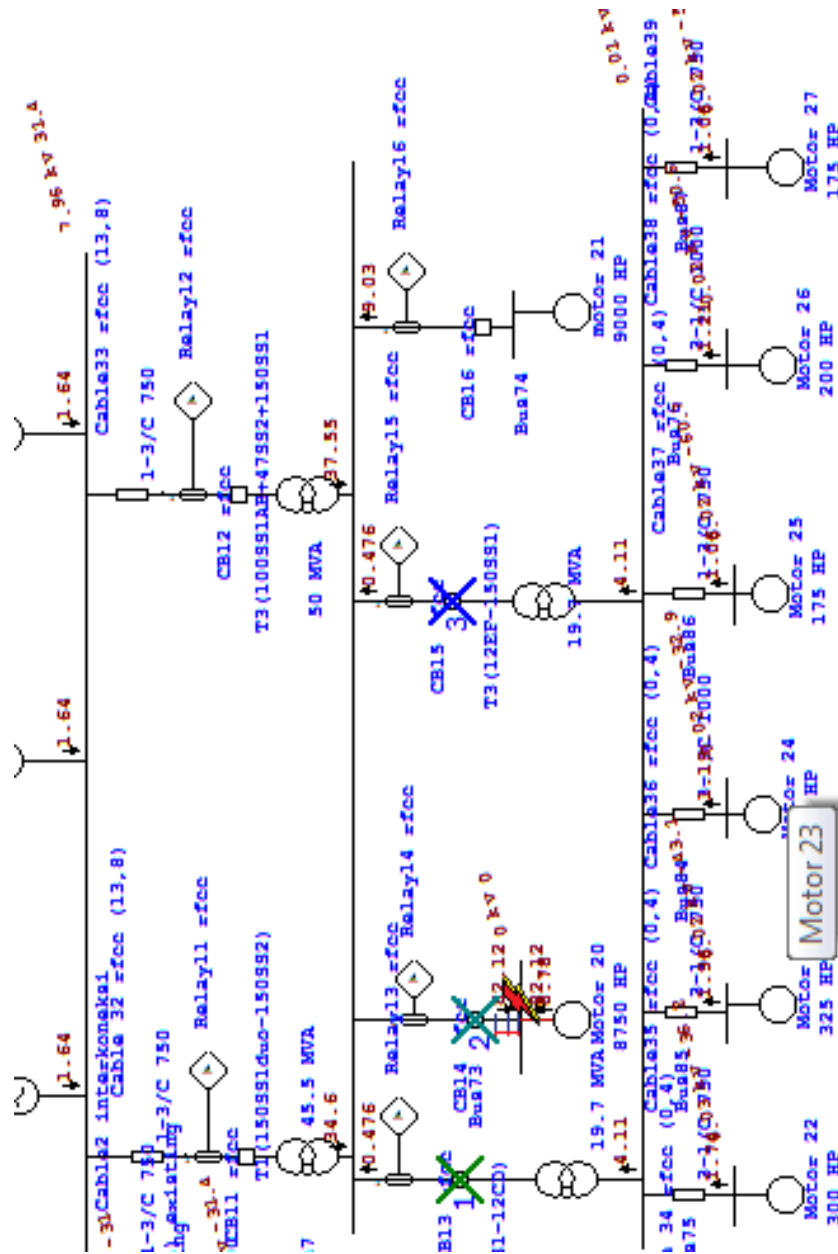


Gambar 4.8 Kurva Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hilir Area RFCC

4.3.4 Pengujian Koordinasi Proteksi Pada Sisi Hulu Distribusi RFCC

Pengujian ini difokuskan pada jaringan tenaga listrik interkoneksi dari 11 pembangkit (PLTU) yang telah menyesuaikan *default setting* koordinasi sistem proteksinya dengan skematis gangguan arus lebih pada beban motor induksi 20 di sisi hilir distribusi tegangan 3,45 kV area RFCC. Pada gambar 4.9 ditunjukkan hasil pengujian koordinasi kinerja relay proteksi pada sisi hulu pembangkit area

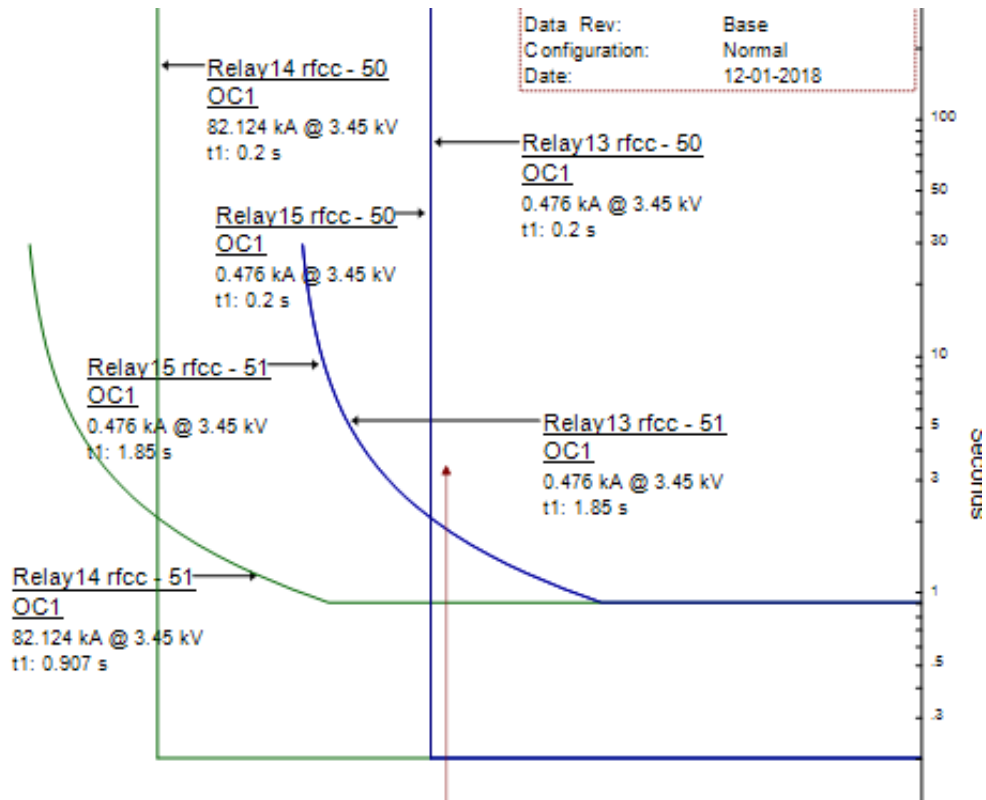
RFCC. Setelah dilakukan pengujian didapatkan bahwa urutan awal mula kerja trip CB 13 lalu CB 14 trip dan CB 15 trip.



Gambar 4.9 Pengujian Koordinasi Relay OCR Pada Sisi Hulu Area RFCC

Pada Gambar 4.10 merupakan kinerja koordinasi proteksi pada relay 13, relay 14 dan relay 15 bekerja trip secara berurutan sehingga gangguan terisolir dengan baik tidak menyebar dan menyebabkan kerusakan fatal pada jaringan lainnya. Gangguan diberikan pada beban motor induksi 3 fasa dengan rating 8750 HP pada tegangan 3,45 kV. Pada relay 13 overcurrent (50) dengan tipe ALSTOM

P125 dengan rasio CT 600 : 5 menghasilkan *instantaneous* = 0.682 (0.002 s.d. 1 x CT Sec) dengan time delay = 0.2 s dan relay 13 *ground fault overcurrent* (51p) dengan standar *IEC standard inverse* menggunakan *pickup* nilai 0.179 (0.002 s.d. 1 CT sec) dengan *time dial* 0.4 s. Sedangkan pada relay 14 *overcurrent* (50) dan relay 14 *ground fault overcurrent* (51p) menggunakan tipe ALSTOM p125 dengan *pickup* 0.832 (0.002 s.d. 1 x CT sec) dengan CT rasio 6000 : 5 dan *time dial* 0.4 serta *instantaneous* 0.832 dengan *time delay* 0,2.



Gambar 4.10 Kurva Koordinasi Sisi Hulu Distribusi RFCC

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Bedasarkan perancangan, pengujian, dan analisis pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan bahwa kinerja sistem proteksi pada interkoneksi sistem distribusi telah berjalan dengan baik sesuai dengan standar IEEE 242 dengan rincian sebagai berikut :

- a. Pada saat terdapat skematis gangguan pada sisi hilir sistem distribusi *existing* dengan beban motor 6 *rating* 350 HP tegangan 0,4 kV maka urutan kerja koordinasi *Relay* 8 trip kemudian disusul *Relay* 5 trip dua kali dengan setelan *normal inverse* standar ANSI *instantaneous* 2,162 menghasilkan *time delay* 0,2 s dan *time dial* 0,4 s.
- b. Pada saat terdapat skematis gangguan pada sisi hulu sistem distribusi *existing* dengan beban motor 1 *rating* 18.000 HP tegangan 3,45 kV maka urutan kerja koordinasi *Relay* 4 trip kemudian disusul *Relay* 1 trip dan terakhir *Relay* 2 trip dengan setelan *normal inverse* standar ANSI *instantaneous* 16,95 dan 4,82 serta 5,698 pada *Relay* tersebut menghasilkan *time delay* 0,2 s dan 0,3 s serta *time dial* 0,4 s dan 0,5s.
- c. Pada saat terdapat skematis gangguan pada sisi hilir sistem distribusi RFCC dengan beban motor 22 *rating* 300 HP tegangan 0,4 kV maka urutan kerja koordinasi *Relay* 13 trip kemudian disusul *Relay* 15 trip dan *Relay* 13 kembali trip dengan setelan standar *inverse IEC instantaneous* 0,682 menghasilkan *time delay* 0,2 s serta *time dial* 0,4 s.
- d. Pada saat terdapat skematis gangguan pada sisi hulu sistem distribusi RFCC dengan beban motor 20 *rating* 8750 HP tegangan 3,45 kV maka urutan kerja koordinasi *Relay* 13 trip dan *Relay* 14 trip kemudian *Relay* 15 trip dengan setelan standar *inverse IEC instantaneous* 0,682 dan 0,832 menghasilkan *time delay* 0,2 s serta *time dial* 0,4 s.

5.2 Saran

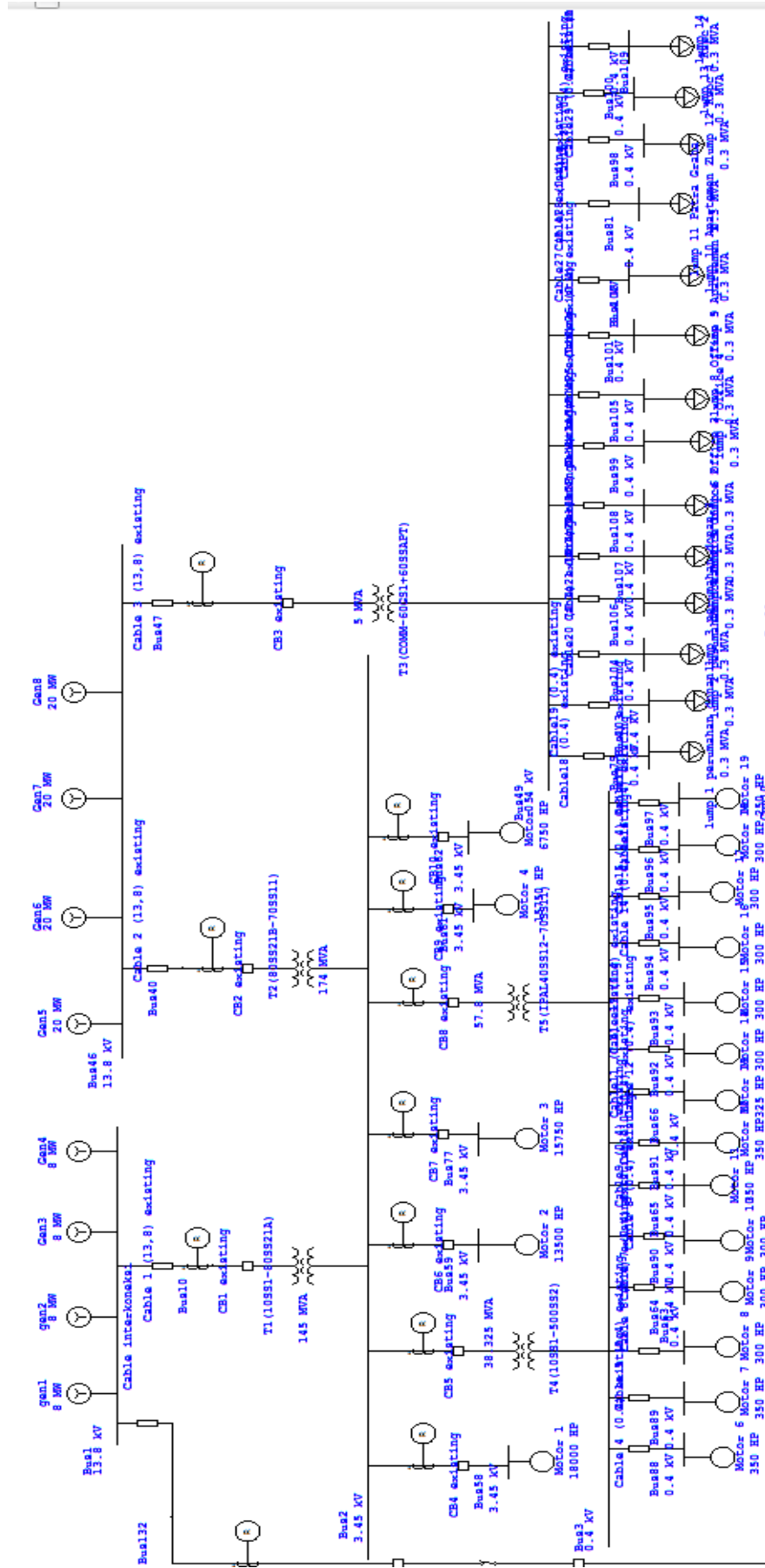
Dari penelitian saran yang dapat diberikan yaitu :

Metode perhitungan pada penelitian ini masih menggunakan metode *trial and error*. Mungkin pada penelitian selanjutnya dapat digunakan metode dan tipe jaringan yang lain dengan perhitungan yang lebih baik misalnya menggunakan bantuan logika *fuzzy* ataupun menggunakan metode lain sehingga hasil terbaik lebih mudah didapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmad Marzuki Yahya, “ Evaluasi Koordinasi Proteksi Akibat Penambahan Pembangkit dan Rekonfigurasi Jaringan di Joint Operation Body Pertamina-Petrochina East Java (Job P-Pej) ”, *J. Basic Eng*, ITS, 2015.
- [2] Firdaus Ariansyah, “ Analisis Kestabilan Transien dan Pelepasan Beban Pada Sistem Integrasi 33 KV PT. Pertamina RU IV Cilacap akibat Penambahan Beban RFCC dan PLBC ”, *J. Basic Eng*, ITS, vol.5, No. 1, ISSN: 2337-3539, 2016.
- [3] Bakshi, Uday A, “ *Switchgear And Protection* ”, Pune : Technical Publications. 2009.
- [4] IEEE Std 242 – 2001, “ *Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems* ”, (*IEEE Buff book*).
- [5] Li Kam W, Priddy A Paul, “ *Power Plant System Design* ”, Canada-USA: John Wiley & Sons, 1985.
- [6] ETAP 12.6 guides.
- [7] General Electric Instruction 50254B, Time Overcurrent Relay ,Type IAC53M, Philadelphia PA.

LAMPIRAN



Gambar Single line diagram distribusi pembangkit existing

LAMPIRAN 2

Pada bagian ini berisi tentang data tabel secara rinci merupakan data pendukung bersifat penting yang berhubungan dengan Tugas Akhir.

Tabel Data *Current Transformer*

| No. | Lokasi | Rasio Primer | Rasio Sekunder |
|-----|-----------------------|--------------|----------------|
| 1 | CT 1 <i>existing</i> | 1000 | 5 |
| 2 | CT 2 <i>existing</i> | 1000 | 5 |
| 3 | CT 3 <i>existing</i> | 1000 | 5 |
| 4 | CT 4 <i>existing</i> | 600 | 5 |
| 5 | CT 5 <i>existing</i> | 600 | 5 |
| 6 | CT 6 <i>existing</i> | 600 | 5 |
| 7 | CT 7 <i>existing</i> | 600 | 5 |
| 8 | CT 8 <i>existing</i> | 600 | 5 |
| 9 | CT 9 <i>existing</i> | 600 | 5 |
| 10 | CT 10 <i>existing</i> | 600 | 5 |
| 11 | CT 11 rfcc | 1000 | 5 |
| 12 | CT 12 rfcc | 1000 | 5 |
| 13 | CT 13 rfcc | 600 | 5 |
| 14 | CT 14 rfcc | 600 | 5 |
| 15 | CT 15 rfcc | 600 | 5 |
| 16 | CT 16 rfcc | 600 | 5 |
| 17 | CT 1 interkoneksi | 1000 | 5 |
| 18 | CT 2 interkoneksi | 1000 | 5 |

Tabel Spesifikasi Ukuran Dan Tipe Kabel

| No | Lokasi | Tipe Kabel | Panjang Kabel (m) | Rating Tegangan (kV) |
|----|--|---------------------------------------|-------------------|----------------------|
| 1 | Line 1 <i>existing</i> | Heesung XLPE 3/C 300 mm ² | 100 | 13,8 |
| 2 | Line 2 <i>existing</i> | Heesung XLPE 3/C 400 mm ² | 100 | 13,8 |
| 3 | Line 3 <i>existing</i> | Heesung XLPE 3/C 240 mm ² | 100 | 13,8 |
| 4 | Motor 6 dan 7 <i>existing</i> | NEC rubber 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 5 | Motor 8 <i>existing</i> | NEC rubber non-mag 1/C 1000 AWG/kcmil | 40 | 0,4 |
| 6 | Motor 9 <i>existing</i> | NEC rubber 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 20 | 0,4 |
| 7 | Motor 10 <i>existing</i> | NEC rubber 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 8 | Motor 11 <i>existing</i> | NEC rubber 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 30 | 0,4 |
| 9 | Motor 12,13,14,15,16.17,18,19,20 <i>existing</i> | NEC rubber 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 10 | perumahan 1 | NEC rubber 3/C 1000 AWG/kcmil | 60 | 0,4 |
| 11 | perumahan 2 | NEC rubber 3/C 1000 AWG/kcmil | 70 | 0,4 |
| 12 | perumahan 3 dan office 1,2,3 | NEC rubber 3/C 1000 AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 13 | office 4 | NEC rubber 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 20 | 0,4 |
| 14 | office 5 | NEC rubber 3/C 1000 AWG/kcmil | 25 | 0,4 |
| 15 | apartemen 1 dan 2 | NEC rubber 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 16 | patra graha | NEC rubber 3/C 1000 AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 17 | rspc 1 | NEC rubber 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 18 | rspc 2 | NEC rubber 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 30 | 0,4 |
| 19 | rspc 3 | NEC rubber 3/C 1000 AWG/kcmil | 80 | 0,4 |
| 20 | line 1 rfcc | ICEA-1994 rubber 3/C 750 AWG/kcmil | 100 | 13,8 |
| 21 | line 2 rfcc | ICEA-1994 rubber 3/C 750 AWG/kcmil | 150 | 13,8 |
| 22 | Motor 22 rfcc | NEC rubber 2 1/C 750 AWG/kcmil | 20 | 0,4 |
| 23 | Motor 23 rfcc | ICEA-1994 rubber 2 1/C 750 AWG/kcmil | 20 | 0,4 |

Lanjutan Tabel Spesifikasi Ukuran Dan Tipe Kabel

| | | | | |
|----|-------------------------------|--|-----|------|
| 24 | Motor 24 rfcc | NEC <i>rubber</i> 2 1/C 1000 AWG/kcmil | 20 | 0,4 |
| 25 | Motor 25 rfcc | ICEA <i>rubber</i> 3/C 750 AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 26 | Motor 26 rfcc | NEC <i>rubber</i> 2 1/C 1000AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 27 | Motor 27 rfcc | NEC <i>rubber</i> 3/C 750 AWG/kcmil | 50 | 0,4 |
| 28 | Interkoneksi <i>line</i> 1 | Heesung XLPE 3/C 300 mm ² | 100 | 13,8 |
| 29 | Interkoneksi <i>line</i> 2 | ICEA-1994 <i>rubber</i> 3/C 750 AWG/kcmil | 100 | 13,8 |

Tabel Data Spesifikasi *Circuit Breaker*

| No. | Tegangan | Lokasi | Tipe CB | <i>Rated Interrupt</i> (kA) | <i>Making Peak</i> (kA) | <i>Min Delay</i> (cycle)/(s) |
|-----|----------|----------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1 | 13,8 kV | CB 1 <i>existing</i> | ANSI GE-VB-13.8-1500 | 63 | 286,8 | 3 |
| 2 | 13,8 kV | CB 2 <i>existing</i> | ANSI GE-VB-13.8-1500 | 63 | 286,8 | 5 |
| 3 | 13,8 kV | CB 3 <i>existing</i> | ANSI GE-VB-13.8-1500 | 63 | 286,8 | 2 |
| 4 | 13,8 kV | CB 4 <i>existing</i> | ANSI GE-VB-13.8-1500 | 63 | 286,8 | 5 |
| 5 | 3,45 kV | CB 5 <i>existing</i> | ANSI GE-AM-4.16-250 | 29 | 97,2 | 2 |
| 6 | 3,45 kV | CB 6 <i>existing</i> | ANSI GE-AM-4.16-250 | 29 | 97,2 | 5 |
| 7 | 3,45 kV | CB 7 <i>existing</i> | ANSI GE-AM-4.16-250 | 29 | 97,2 | 5 |
| 8 | 3,45 kV | CB 8 <i>existing</i> | ANSI GE-AM-4.16-250 | 29 | 97,2 | 2 |
| 9 | 3,45 kV | CB 9 <i>existing</i> | ANSI GE-AM-4.16-250 | 29 | 97,2 | 5 |
| 10 | 3,45 kV | CB10 <i>existing</i> | ANSI GE-AM-4.16-250 | 29 | 97,2 | 5 |
| 11 | 13,8 kV | CB 11 rfcc | IEC GE-VBI-13,8-25 | 25 | 63 | 0,01 |
| 12 | 13,8 kV | CB 12 rfcc | IEC GE-VBI-13,8-40 | 40 | 100 | 0,02 |
| 13 | 3,45 kV | CB 13 rfcc | IEC GE-VBI-3,6-25 | 25 | 63 | 0,01 |
| 14 | 3,45 kV | CB 14 rfcc | IEC GE-VBI-3,6-25 | 25 | 63 | 0,02 |
| 15 | 3,45 kV | CB 15 rfcc | IEC GE-VBI-3,6-25 | 25 | 63 | 0,02 |
| 16 | 3,45 kV | CB 16 rfcc | IEC GE-VBI-3,6-25 | 25 | 63 | 0,02 |
| 17 | 13,8 kV | CB 169 inter | ANSI GE-VB-13.8-1500 | 63 | 286,8 | 3 |
| 18 | 13,8 kV | CB 170 inter | IEC GE-VBI-13,8-25 | 25 | 63 | 0,1 |

Tabel Data spesifikasi beban

| No | Lokasi Beban | Tegangan (kV) | Daya (HP) | Load ampere (kVA) |
|----|---|---------------|-----------|-------------------|
| 1 | Motor 1 existing | 3,45 | 18000 | 15089 |
| 2 | Motor 2 existing | 3,45 | 13.500 | 11349 |
| 3 | Motor 3 existing | 3,45 | 15.750 | 13220 |
| 4 | Motor 4 existing | 3,45 | 15.750 | 13220 |
| 5 | Motor 5 existing | 3,45 | 6750 | 5713 |
| 6 | Motor 6 existing | 0,4 | 350 | 305 |
| 7 | Motor 7 existing | 0,4 | 350 | 305 |
| 8 | Motor 8 existing | 0,4 | 300 | 262 |
| 9 | Motor 9 existing | 0,4 | 300 | 262 |
| 10 | Motor 10 existing | 0,4 | 300 | 262 |
| 11 | Motor 11 existing | 0,4 | 350 | 305 |
| 12 | Motor 12 existing | 0,4 | 350 | 305 |
| 13 | Motor 13 existing | 0,4 | 325 | 284 |
| 14 | Motor 14 existing | 0,4 | 300 | 262 |
| 15 | Motor 15 existing | 0,4 | 300 | 262 |
| 16 | Motor 16 existing | 0,4 | 300 | 262 |
| 17 | Motor 17 existing | 0,4 | 300 | 262 |
| 18 | Motor 18 existing | 0,4 | 300 | 262 |
| 19 | Motor 19 existing | 0,4 | 250 | 219 |
| 20 | Motor 20 rfcc | 3,45 | 8750 | 7388 |
| 21 | Motor 21 rfcc | 3,45 | 9000 | 7596 |
| 22 | Motor 22 rfcc | 0,4 | 300 | 262 |
| 23 | Motor 23 rfcc | 0,4 | 325 | 284 |
| 24 | Motor 24 rfcc | 0,4 | 200 | 175 |
| 25 | Motor 25 rfcc | 0,4 | 175 | 154 |
| 26 | Motor 26 rfcc | 0,4 | 200 | 175 |
| 27 | Motor 27 rfcc | 0,4 | 175 | 154 |
| 28 | <i>Lump</i> 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14 | 0,4 | 0,255 MW | 0,3 MVA |

Tabel besar arus nominal dan arus hubung singkat

| No | Lokasi | ISC (kA) | In (A) | Isc setting (kA) | In setting (A) |
|----|--|----------|--------|------------------|----------------|
| 1 | In gen 13,8 kV 1,2,3,4 <i>existing</i> | 0 | 301,3 | 0 | 316,36 |
| 2 | In gen 13,8 kV 5,6,7,8 <i>existing</i> | 0 | 400,3 | 0 | 420,32 |
| 3 | Bus 1 13,8 kV | 24,778 | 1205 | 18583.5 | 1265 |
| 4 | Bus 2 13,8 kV | 97,408 | 1424,5 | 73056 | 1495 |
| 5 | Bus 3 13,8 kV | 570,894 | 180,8 | 428170.5 | 189,4 |
| 6 | In 13,8/3,45 kV T1 | 97,408 | 4820 | 73056 | 5061 |
| 7 | In 13,8/3,45 kV T2 | 97,408 | 5698,1 | 73056 | 5983 |
| 8 | Bus 4 motor 1 | 97,408 | 2541,6 | 73056 | 2670 |
| 9 | Bus 5 motor 2 | 97,408 | 1911,7 | 73056 | 2007 |
| 10 | Bus 6 motor 3 | 97,408 | 2226,7 | 73056 | 2338 |
| 11 | Bus 7 motor 4 | 97,408 | 2226,7 | 73056 | 2338 |
| 12 | Bus 8 motor 5 | 97,408 | 962,4 | 73056 | 1011 |
| 13 | In 3,45/0,4 kV T4 | 570,894 | 259,1 | 428170.5 | 272,05 |
| 14 | In 3,45/0,4 kV T5 | 570,894 | 390,7 | 428170.5 | 410,24 |
| 15 | In 13,8/0,4 kV T3 | 83,098 | 6236,7 | 62323.5 | 6548,5 |
| 16 | Bus 9,10,15 motor 6,7,12 | 24,793 | 448,6 | 18594.75 | 471,03 |
| 17 | Bus 11 motor 8 | 30,792 | 383,8 | 23094 | 402,99 |
| 18 | Bus 12 motor 9 | 23,550 | 383,9 | 17662.5 | 403,1 |
| 19 | Bus 13,17,18,19,20,21 motor 10,14,15,16,17,18 | 24,793 | 384,5 | 18594.75 | 403,73 |
| 20 | Bus 14 motor 11 | 40,607 | 446,6 | 30455.25 | 468,93 |
| 21 | Bus 16 motor 13 | 24,793 | 416,5 | 18594.75 | 437,33 |
| 22 | Bus 22 motor 19 | 24,793 | 320,5 | 18594.75 | 336,53 |
| 23 | <i>Lump 1,2</i> | 0 | 446 | 0 | 468,3 |
| 24 | <i>Lump 3,4,5,6</i> | 0 | 445,2 | 0 | 467,46 |
| 25 | <i>Lump 7</i> | 0 | 444,4 | 0 | 466,62 |
| 26 | <i>Lump 8</i> | 0 | 444 | 0 | 466,2 |
| 27 | <i>Lump 9,10,12</i> | 0 | 446,2 | 0 | 468,51 |
| 28 | <i>Lump 11</i> | 0 | 445,2 | 0 | 467,46 |
| 29 | <i>Lump 13</i> | 0 | 444,9 | 0 | 467,15 |
| 30 | <i>Lump 14</i> | 0 | 446,6 | 0 | 466,83 |
| 31 | In gen 9,10,11 13,8 kV rfcc | 0 | 227,9 | 0 | 239,29 |
| 32 | Bus 23 | 21,965 | 327,9 | 16473.75 | 337,99 |
| 33 | Bus 24 | 21,199 | 355,9 | 15899.25 | 373,69 |
| 34 | In 13,8/3,45 kV T6 | 51,138 | 1311,7 | 38353.5 | 1377,3 |
| 35 | In 13,8/3,45 kV T7 | 51,138 | 1423,5 | 38353.5 | 1494,6 |
| 36 | Bus 25 motor 20 | 27,417 | 1247,7 | 20562.75 | 1310,1 |
| 37 | Bus 26 motor 21 | 27,417 | 1282,8 | 20562.75 | 1346,94 |
| 38 | In 3,45/0,4 kV T8,T9 | 232,573 | 102,4 | 174429.75 | 107,52 |
| 39 | Bus 27 motor 22 | 35,735 | 385,3 | 26801.25 | 404,56 |
| 40 | Bus 28 motor 23 | 0 | 415,4 | 0 | 436,17 |
| 41 | Bus 29 motor 24 | 0 | 257,1 | 0 | 269,95 |
| 42 | Bus 30 motor 25 | 0 | 225,5 | 0 | 236,77 |
| 43 | Bus 31 motor 26 | 0 | 257,3 | 0 | 263,86 |
| 44 | Bus 32 motor 27 | 0 | 225,7 | 0 | 236,98 |

