



INSTITUT TEKNOLOGI PLN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMI
PENERAPAN SISTEM *COMBINED CYCLE* PADA PLTG
MPP TARAHAH LAMPUNG**

DISUSUN OLEH :

FADHILLAH AINUN AULIYA

NIM : 202210016

**PROGRAM STUDI S2
FAKULTAS ENERGI TERBARUKAN DAN
KETENAGALISTRIKAN
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2026**

**ANALISIS KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMI
PENERAPAN SISTEM *COMBINED CYCLE* PADA PLTG
MPP TARAHAH LAMPUNG**

PROYEK TESIS



INSTITUT TEKNOLOGI PLN

Diajukan untuk memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Magister

Disusun Oleh :

FADHILLAH AINUN AULIYA

NIM : 202210016

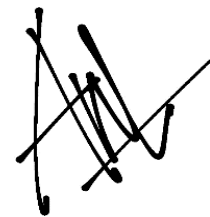
**PROGRAM STUDI S2
FAKULTAS ENERGI TERBARUKAN DAN
KETENAGALISTRIKAN
INSTITUT TEKNOLOGI PLN
JAKARTA 2026**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Nama : Fadhillah Ainun Auliya
NIM : 202210016
Program Studi : S2 Teknik Elektro
Fakultas : Energi Terbarukan dan Ketenagalistrikan
Judul Proyek Akhir : Analisis Kelayakan Teknis dan Ekonomi Penerapan
Combined Cycle pada PLTG MPP Tarahan
Lampung

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Magister baik di lingkungan Institut Teknologi PLN maupun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar psutaka. Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedia bertanggung jawab segala resiko jika ternyata pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 23 Januari 2025



(Fadhillah Ainun Auliya)

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Analisis Kelayakan Teknis dan Ekonomi Penerapan Sistem *Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan Lampung
Nama Mahasiswa : Fadhillah Ainun Auliya
NIM : 202210016
Program Studi : S2 Teknik Elektro
Fakultas : Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan

Disetujui Oleh

Pembimbing I
Prof. Dr. Dr. Aminullah Assagaf, SE., MS., MM., M. Ak
NIDN: 0729015601

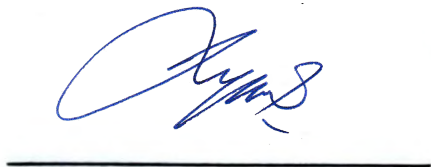


Diketahui Oleh,

Kepala Program Studi
Dr. Ir. Retno Aita Diantari, ST., M.T., IPM., ASEAN. Eng
NIDN: 0326098601



Dekan/Direktur
Dr. Lukman, ST., M. Kom., IPM., ASEAN. Eng.
NIDN: 0316067501



Tanggal Ujian : 14 Februari 2026

Tanggal Lulus : 14 Februari 2026

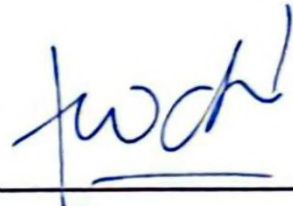
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Judul Tugas Akhir : Analisis Kelayakan Teknis dan Ekonomi Penerapan Sistem *Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan Lampung
Nama Mahasiswa : Fadhillah Ainun Auliya
NIM : 202210016
Program Studi : S2 Teknik Elektro
Fakultas : Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan

Disetujui Oleh

Ketua Penguji

Nama: Dr.Tri Wahyu Adi, SE., MM, CRGP., CAFG
NIDN: 0307047203



Anggota Penguji I

Nama: Farid Wijaya, ST., Ph.D
NIDN: 0301129104



Anggota Penguji II/Pembimbing

Nama: Prof. Dr. Dr. Aminullah Assagaf, SE., MS., MM., M.Ak
NIDN: 0729015601



Diketahui Oleh,

Kepala Program Studi

Dr. Ir. Retno Aita Diantari, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng
NIDN:0326098601



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini saya menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

Prof. Dr. Dr. Aminullah Assagaf,, SE., MS., MM., M.Ak

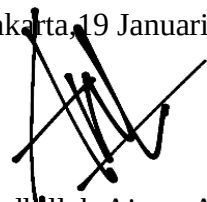
Yang telah memberikan petunjuk, saran-saran serta bimbingannya sehingga Tesis ini dapat diselesaikan.

Terima kasih yang sama, saya sampaikan kepada :

1. Ansar, SPd, M.Si, dan Suhaeni Ramli,S.Pd selaku orang tua mahasiswi
2. Ir. Jefri Rosiadi, MT selaku Direktur PT Sentra Teknologi Terapan
3. Sulistidjo Prasodjo, ST., MT. selaku EVP Konsultan PT Sentra Teknologi Terapan
4. Ir. Herwiandono, M.T. selaku Project Team Leader PT Sentra Teknologi Terapan
5. RA Ilham Kusuma, ST selaku tim pembantu analisis perangkat lunak dan simulasi perhitungan dalam proyek Tesis
6. Widiya Astuti Alam Sur, SPd., MPd. Dosen Politeknik Tanah Laut selaku riview Analisis Tesis.

Yang telah mengizinkan dan membantu melakukan penelitian terkait analisis kelayakan tekno-ekonomis penerapan *system Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan Lampung ,juga telah mempermudah untuk pengambilan data, serta membantu jalannya penelitian mahasiswi.sehingga bisa menyelesaikan tesis ini dengan baik.

Jakarta, 19 Januari 2025



Fadhillah Ainun Auliya
202210016

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Institut Teknologi- PLN, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

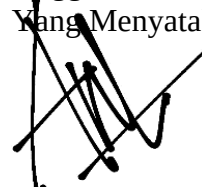
Nama : Fadhillah Ainun Auliya
NIM : 202210016
Program Studi : Strata-2
Fakultas : Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan
Judul Tugas Akhir : Analisis Kelayakan Teknis dan Ekonomi Penerapan Sistem *Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan Lampung

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada institut teknologi PLN Hak bebas Royalti Non eksklusif (*Non- Exclusive Royalti Free Right*) atas karya ilmiah saya. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas *Royalti Non eksklusif* ini Institut Teknologi PLN berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan *Proyek Tesis* saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Jakarta
Pada : 19 Desember 2025
tanggal

Yang Menyatakan,



(Fadhillah Ainun Auliya)

ANALISIS KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMI PENERAPAN SISTEM *COMBINED CYCLE* PADA PLTG MPP TARAHAH LAMPUNG

Fadhillah Ainun Auliya, 202210016

Dibawah bimbingan **Prof. Dr. Dr. Aminullah Assagaf, SE., MS., MM., M.Ak**

ABSTRAK

Dalam rangka berpartisipasi memenuhi pertumbuhan beban dan meningkatkan keandalan sistem kelistrikan di Lampung dan mempertahankan eksistensi aset GT MPP Tarahan serta meningkatkan *performance* GT MPP Tarahan, penulis merencanakan melakukan analisis teknis dan ekonomi untuk meningkatkan GT MPP Tarahan yang sekarang tinggal 1 unit, 25 MW dari sebelumnya 4 unit, 4 X 25 MW menjadi *combined cycle*. Dengan peningkatan menjadi *Combined Cycle* selain diharapkan akan mengembalikan *power output* sebagaimana semula yakni > 100 MW juga akan meningkatkan performanya khususnya efisiensinya sehingga akan meningkatkan level merit order pada *system dispatch* di sistem Lampung, dengan demikian dapat diharapkan *loading* pembangkit menjadi *base load* yang akan menghasilkan *revenue* yang cukup besar untuk PLN Batam. Sistem kelistrikan Lampung merupakan bagian Sub-Sistem kelistrikan 150 kV Sumatera Bagian Selatan. Saat ini power suplai untuk daerah Lampung berasal dari pembangkit yang terdapat di Lampung dengan DMN sebesar ± 824 MW dengan puncak sebesar ± 1390 MW, sehingga masih diperlukan transfer daya dari Sub Sistem kelistrikan Sumatera Selatan sekitar 566 MW. Untuk mengetahui apakah penerapan *Combined Cycle* dapat dikatakan layak atau tidak jika diterapkan pada PLTG MPP Tarahan, akan dilakukan analisis simulasi aliran daya, stabilitas transient dan analisis ekonomi berdasarkan nilai NPV, PI, IRR dan PP pada penerapan *combined cycle* pada PLTG MPP Tarahan Lampung, Dimana hasilnya menunjukkan bahwa penerapan *Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan Lampung layak secara teknis dan ekonomi.

Kata Kunci : *Combined Cycle*, Kelayakan Teknis dan Ekonomi.

TECHNO-ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS OF COMBINED CYCLE SYSTEM IMPLEMENTATION AT PLTG MPP TARAHAH LAMPUNG

Fadhillah Ainun Auliya, 202210016

Under the guidance of **Prof. Dr. Dr. Aminullah Assagaf, SE, MS., MM., M.Ak**

ABSTRACT

In order to contribute to meeting load growth and improving the reliability of the electricity system in Lampung, as well as to maintain the continued operation of the GT MPP Tarahan assets and enhance their performance, this study conducts a technical and economic analysis of upgrading the GT MPP Tarahan plant, which currently operates only one 25 MW unit from its original configuration of four units (4×25 MW), into a Combined Cycle system. Through the implementation of a Combined Cycle configuration, it is expected not only to restore the original power output to more than 100 MW, but also to significantly improve plant performance, particularly in terms of efficiency. This improvement is anticipated to enhance the plant's merit order position in the Lampung system dispatch, thereby increasing the likelihood of the plant operating as a base-load generator and generating substantial revenue for PLN Batam. The Lampung electricity system is part of the 150 kV Southern Sumatra sub-system. At present, the power supply for the Lampung region is provided by local power plants with an installed capacity of approximately 824 MW, while peak demand reaches around 1,390 MW. Consequently, power transfers of approximately 566 MW are still required from the South Sumatra sub-system. To determine whether the implementation of a Combined Cycle system at PLTG MPP Tarahan is technically and economically feasible, this study performs power flow simulations, transient stability analyses, and economic evaluations based on Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period (PP) for the proposed Combined Cycle application at PLTG MPP Tarahan, Lampung. The result show that application of the Combined Cycle MPP PLTG Tarahan Lampung is technically and economical feasible.

Keywords: Combined Cycle, Feasibility study, analysis Techno-Economic

DAFTAR ISI

Halaman sampul cover.....	i
Halaman Judul dalam.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PENGESAN TUGAS AKHIR.....	iv
LEMBAR.....	v
PENGESAHAN PENGUJI.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I18	
PENDAHULUAN	18
1.1 Latar Belakang	18
1.2 Rumusan Masalah	19
1.3 Tujuan	19
1.4 Manfaat	19
1.5 Ruang Lingkup Masalah	20
1.6 Sistematika Penulisan	21

BAB II.....	22
TINJAUAN PUSTAKA	22
2.1 Penelitian yang relevan	22
2.2 Landasan Teori.....	23
2.2.1.Industri Ketenagalistrikan.....	23
2.2.2 Sistem Tenaga Listrik	24
2.2.3.Pembangkit Tenaga Listrik.....	25
2.2.4. <i>Combined Cycle Power plant</i>	26
2.2.5.Perangkat Lunak <i>DIgSILENT</i>	30
2.2.6. Konsep Dasar Uji Kelayakan Ekonomi	33
BAB III	37
METODE PENELITIAN	37
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	37
3.2 Desain Penelitian.....	37
3.2.1.Rencana rancangan penelitian	37
3.2.2.Flowchart	38
3.3 Metode Pengumpulan Data	39
3.4 Metode Analisis Data.....	39
3.4.1. <i>Study Penerapan Combined Cycle PLTG MPP Tarahan Lampung</i>	39
3.4.2. Analisis Kelayakan Teknis Penerapan <i>Combined Cycle PLTG MPP Tarahan Lampung</i>	40
3.4.3.Analisis Kelayakan Ekonomi Penerapan <i>Combined Cycle PLTG MPP Tarahan Lampung</i>	44
3.5. Jadwal Penelitian.....	48
BAB IV	49

HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Hasil.....	49
4.1.1. <i>Study</i> Penerapan <i>Combined Cycle</i> PLTG MPP Tarahan	49
4.1.2. Analisis Kelayakan Teknis Penerapan <i>Combined Cycle</i> PLTG MPP Tarahan	56
4.1.3. Analisis Kelayakan ekonomi penerapan <i>Combined Cycle</i> PLTG MPP Tarahan	65
4.2 Pembahasan.....	72
4.2.1. <i>Study</i> Penerapan <i>Combined Cycle</i> PLTG MPP Tarahan	72
4.2.2. Analisis Kelayakan Teknis Penerapan <i>Combined Cycle</i> PLTG MPP Tarahan	86
4.2.3 Analisis Kelayakan Ekonomi Penerapan <i>Combined Cycle</i> PLTG MPP Tarahan	96
BAB V	102
PENUTUP	102
5.1 Kesimpulan	102
5.2 Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	104
RIWAYAT HIDUP	107
LEMBAR PERBAIKAN	108
1. Ketua Penguji.....	108
2. Anggota Penguji	109
3. Anggota Penguji/Pembimbing	110
LEMBAR BIMBINGAN.....	111
LAMPIRAN.....	113
Lamp 1. Foto Survey	113

Lamp 2. Layout CCPP	115
Lamp 3. HSD <i>System</i>	116
Lamp 4. Fuel Gas <i>System</i>	117
Lamp 5. Water Treatment <i>System</i>	118
Lamp 6. Water Treatment <i>System</i> 2.....	119
Lamp 7. Fire Water <i>System</i>	120
Lamp 7. Instrument Air <i>System</i>	121
Lamp 8. SLD.....	122
Lamp 9. SLD 2.....	123
Lamp 9. Hasil Plagiarisme dengan software Turnitin	124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1 Ilustrasi Sistem Tenaga Listrik.....	24
Gambar 2 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....	25
Gambar 2 3 Pembangkit Listrik Tenaga Gas	26
Gambar 2 4 Ilustrasi Combined Cycle	27
Gambar 2 5 Siklus Termodinamika Bryaton dan Rankie	28
Gambar 2 6 Aplikasi DIgSILENT	30
Gambar 2 7 Pengoperasian Analis DIgSILENT	31
Gambar 2 8 Contoh Pengoperasian DIgSILENT	32
 Gambar 3.3 1 Arsitektur dan opimalisasi DIgSILENT	40
 Gambar 3. 1 Rancangan Penelitian CCPP MPP Tarahan	37
Gambar 3. 2 Design Penelitian.....	38
 Gambar 4 1 Lokasi MPP Tarahan Lampung.....	51
Gambar 4 2 Lahan Lokasi MPP Tarahan Lampung.....	51
Gambar 4 3 Lokasi MPP Tarahan Pada Peta RT RW KAB.Lampung.....	52
Gambar 4 4 Kondisi Area Sekitar Tarahan	53
Gambar 4 5 Rencana Design Layout Cembined cycle PLTG MPP Tarahan	54
Gambar 4 6 Single Line Diagram Penambahan Cembined cycle	56
Gambar 4 7 SLD SUB Sistem Lampung dalam DigSILEND	57
Gambar 4 8 Zoom in Gambar SLD Rencana Penerapan Combined Cycle	58
Gambar 4 9 Aliran daya sebelum penerapan Combined Cycle	58
Gambar 4 10 Generator mengalami beban berlebih	59
Gambar 4 11 SLD Setelah penerapan Combined Cycle	60
Gambar 4 12 Aliran daya setelah penerapan Combined Cycle.....	60
Gambar 4 13 Analisa Aliran Daya pada generator yang beban berlebih.....	61
Gambar 4 14 Hasil Simulasi Transient Trip 1 Blok Pembangkit sebesar 75 MW	64
Gambar 4 15 Hasil Simulasi Transient fault pada salah satu sirkuit 150 KV GI new Tarahan - GI Swibawono	65
Gambar 4 16 Area PLTG MPP Tarahan	73

Gambar 4 17 Rute dari Bandara Raden Inten II Lampung menuju Lokasi	74
Gambar 4 18 Kondisi Akses Jalan Lalu Lintas Sumatra Menuju Lokasi	74
Gambar 4 19 Kondisi Keseluruhan Pelabuhan Panjang	75
Gambar 4 20 Kondisi Pelabuhan Panjang.....	76
Gambar 4 21 Kondisi Pelabuhan penyebrangan Bakauheni (Sebagai Alternatif)	76
Gambar 4 22 Kondisi Pelabuhan Bakauheni (Sebagai alternatif)(aerial view)	77
Gambar 4 23 Rute Pelabuhan penyebrangan (ASDP) Bakauheni ke lokasi.....	78
Gambar 4 24 Kondisi Aerial View- Area Pergudangan.....	79
Gambar 4 25 Kondisi Pergudangan	79
Gambar 4 26 Kondisi Aerial View-Area Depan.....	80
Gambar 4 27 Kondisi Area Depan	80
Gambar 4 28 Kondisi Perairan.....	81
Gambar 4 29 Kondisi Perairan 2	81
Gambar 4 30 Layout PLTG MPP Tarahan CCPP.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel 1 1 Jaringan Transmisi Eksisting Sub Sistem Lampung.....	20
Tabel 3. 1 Batasan Nilai normal aturan jaringan sistem tenaga listrik.....	42
Tabel 3. 2 Kriteria Frekuensi sistem batas bawah dan atas.....	42
Tabel 3. 3 Kriteria Pembebanan Transformer.....	43
Tabel 3. 4 Kriteria Pembebanan Transmisi.....	43
Tabel 3. 5 Referensi Harga Proyek	44
Tabel 3. 6 Jadwal Penelitian.....	48
Tabel 4. 1 Tabel Prakiraan Konfigurasi penerapan Cembined cycle.....	56
Tabel 4. 2 Nilai arus hubung singkat Sebelum dan sesudah CC.....	61
Tabel 4. 3 Hasil simulasi Hubung Singkat Terhadap Tenggangan.....	62
Tabel 4. 4 Hasil simulasi hubung singkat terhadap pembebanan dan losses	63
Tabel 4. 5 Hasil simulasi aliran daya berdasarkan kontingensi N-1	63
Tabel 4. 6 Nilai Kebutuhan komponen penerapan Combined Cycle	66
Tabel 4. 7 Nilai Cost Penerapan Combined Cycle.....	66
Tabel 4. 8 Arus Kas Penerapan Combined Cycle	69
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan nilai PP,NPV,PI,dan IRR.....	70
Tabel 4. 10 Hasil Simulasi Berdasarkan Nilai Arus	87
Tabel 4. 11 Hasil simulasi Hubung singkat berdasarkan nilai tegangan.....	88
Tabel 4. 12 Hasil Hubung Singkat berdasarkan Pembebanan dan Losses.....	90
Tabel 4. 13 Hasil simulasi berdasarkan Kontingensi N=1	91
Tabel 4. 14 Grafik Transient saat beban puncak kasus 1	94
Tabel 4. 15 Grafik Transient pada Kasus 2.....	95
Tabel 4. 16 Perakiraan harga kebutuhan barang	97
Tabel 4. 17 Tabel Nilai Cost Estimate Penerapan Combined Cycle.....	97
Tabel 4. 18 Arus kas penerapan Combined Cycle	100
Tabel 4. 19 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Foto Survey Daerah Sekitar MPP Tarahan.....	113
Lampiran 2 Layout CCPP	115
Lampiran 3 HSD System	116
Lampiran 4 Fuel Gas System	117
Lampiran 5 Water Treatment System	118
Lampiran 6 Water Treatment System 2	119
Lampiran 7 Fire Water System	120
Lampiran 8 Instrumenyt Air System.....	121
Lampiran 9 SLD.....	122
Lampiran 10 SLD 2.....	123
Lampiran 11 Hasil Plagiarisme dengan software Turnitin	124

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan suatu *energy* yang sangat dibutuhkan dalam kelangsungan hidup, listrik salah satu kebutuhan pokok yang sudah tidak bisa dipisahkan dari kehidupan sehari-hari, maka dari itu kebutuhan *energy* listrik terus saja diperbaharui setiap waktu, dari tahun ke tahun dan dari masa ke masa.

Dalam memperoleh *energy* listrik diperlukan adanya pengolahan dan pemanfaatan *energy* listrik sebaik mungkin, *energy* listrik dihasilkan dari produksi listrik dari pembangkit tenaga listrik yang kemudian di distribusikan ke masing masing pelanggan yang membutuhkan.

Pembangkit listrik tersebar berbagai macam jenis yang bisa menghasilkan listrik, seperti pembangkit listrik tenaga Uap, Pembangkit listrik tenaga diesel, pembangkit Listrik tenaga angin, pembangkit listrik tenaga gas, dan masih banyak lagi,

Salah satu jenis pembangkit listrik yang menyumbangkan *energy* listrik yang banyak adalah PLTG MPP Tarahan lampung. PLTG tersebut yang mengolah semua *system* kelistrikan di Lampung, keadaan GT MPP Tarahan Lampung sekarang yang berjalan tinggal 1 unit yang masih berjalan, karena kondisi tersebut diusulkan untuk dilakukannya *combined cycle* yang mungkin bisa menjadi acuan untuk dapat meningkatkan keadaan *system* kelistrikan di Lampung. Dimana yang sebelumnya 25 MW yang merupakan 4 unit, yang semula 4x25 MW di lakukan *study* kelistrikan untuk *scenario* untuk menerapkan *combined cycle*.

Dengan melakukan *scenario combined cycle* diharapkan akan mengembalikan *power output* sebagaimana semula yakni sekitar 100 MW dijadikan 150 MW sehingga dapat meningkatkan performa khususnya efisiensi. Dan juga luaran yang di harapkan mampu meningkatkan *level merit order* yang bisa menghasilkan *revenue* yang menjanjikan untuk *system* kelistrikan di Lampung dengan efisiensi yang lebih tinggi dan mungkin menggunakan bahan bakar yang lebih murah.

Dengan membuat menjadi pembangkit *combined cycle* yang efisiensinya menjadi lebih meningkat dan diharapkan akan meningkatkan posisi merit order di *system* dispatch Sumatra Bagian Selatan. Sebagai Langkah awal skema tersebut yaitu bagaimana rencana *study* penerapan *Combined Cycle* seperti konsep umum dan pemilihan Lokasi pembangkit, kemudian akan dilakukannya Analisa teknis dan ekonomi penerapan *Combined Cycle*

PLTG MPP Tarahan, dengan menggunakan 2 skema dalam melihat sudut pandang kelistrikan sebelum dan sesudah di terapkannya *combined cycle* pada MPP Tarahan Lampung. Kemudian untuk analisis ekonomi dilakukan berdasarkan nilai dari NPV, PI, IRR, dan PP.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang menjadi peluang dari penelitian tesis ini, adapun rumusan masalah yang akan dilakukan adalah:

1. Bagaimana *study* penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan Lampung ?
2. Bagaimana analisis kelayakan teknis berdasarkan analisa aliran daya dan analisa *stabilitas transient* setelah penerapan *Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan Lampung?
3. Bagaimana analisis kelayakan ekonomi penerapan *Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan berdasarkan nilai NPV, PI, IRR dan PP?

1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah peluang dari penelitian tesis ini, adapun tujuan dari penelitian tesis yang akan di lakukan adalah:

1. Mengetahui *study* penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan Lampung.
2. Mengetahui hasil analisis kelayakan teknis berdasarkan analisa aliran daya dan analisa *stabilitas transient*, penerapan *Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan Lampung.
3. Mengetahui analisis kelayakan penerapan *Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan secara ekonomi berdasarkan nilai NPV, PI, IRR dan PP.

1.4 Manfaat

Mencakup dari latar belakang, rumusan masalah, dan juga tujuan penelitian, maka manfaat dari penelitian tesis yang dilakukan adalah:

1. Mendapatkan *study* penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan Lampung.
2. Mendapatkan hasil analisis kelayakan teknis berdasarkan analisa aliran daya dan analisa *stabilitas transient* setelah dilakukannya penerapan *Combined Cycle* pada PLTG MPP Tarahan.
3. Mendapatkan analisis kelayakan ekonomi berdasarkan NPV, PI, IRR dan PP setelah penerapan *Combined Cycle* di PLTG MPP Tarahan.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Pada penelitian ini penulis menyadari bahwa untuk pelaksanaan atau penulisan kelayakan ada banyak aspek yang harus dipertimbangkan di butuhnya analisis lebih dalam dan lanjut agar bisa menjadi lebih baik dan sempurna, namun keterbatasan waktu dan juga beberapa faktor permasalahan seperti kurangnya kompetensi yang dimiliki penulis sehingga penulis membatasi lingkup permasalahan dalam penelitian ini, adapun batasan masalah atau ruang lingkup permasalahan yang dilakukan adalah:

1. Penelitian ini hanya membahas hasil aliran daya, stabilitas transient, dan kontingensi pada satu titik busbar, dan hanya membahas eksisting di SUB Sistem Lampung. Dan berfokus pada 7 Gardu Induk, yaitu GI Lampung 1, Metro, New Tarahan, Sebalang, Seputih Banyak, Sribawono, dan Sutami.
2. Untuk analisis Transient hanya menggunakan 2 skenario yaitu untuk scenario 1 yaitu blok *combined cycle* PLTG MPP Tarahan sebesar 75 MW, dan terjadinya *fault* pada salah satu sirkuit 150 KV di GI New Tarahan-GI Sribawo.
3. Kajian ekonomi mencari nilai dari NPV, PI, IRR, dan PP.
4. Penelitian ini hanya membahas hasil simulasi aliran daya berikut dengan pembebananya dengan melihat 11 jaringan transmisi, yang saling berkaitan dengan *Combined Cycle* yaitu;

No	Jaringan Transmisi
1	LAMPUNG 1 - METRO
2	NEW TARAHAH – SEBALANG #1
3	NEW TARAHAH – SEBALANG #2
4	SRIBAWONO - LAMPUNG 1
5	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #1
6	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #2
7	SRIBAWONO – METRO
8	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #1
9	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #2
10	SUTAMI - NEW TARAHAH #1
11	SUTAMI - NEW TARAHAH #2

Tabel 1 1 Jaringan Transmisi Eksisting Sub Sistem Lampung

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang ada pada penulisan tesis ini yaitu dibagi menjadi beberapa bagian, dimana yang pertama yaitu BAB I Pendahuluan, Dimana pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan. Manfaat, ruang lingkup, dan sistematika penulisan, kemudian untuk BAB II Tinjauan Pustaka, dimana pada bagian ini menjelaskan tentang, penelitian yang relevan, dan landasan teori, untuk BAB III Metode Penelitian, dimana pada bab ini menjelaskan tentang, tempat dan waktu penelitian, desain penelitian, metode pengumpulan data, metode analisis data, kemudian berikutnya yaitu BAB IV Hasil dan Pembahasan, dimana pada bab ini membahas tentang Hasil dan pembahasan mengenai judul skripsi yang diangkat, kemudian pada bab terakhir, yakni BAB V Penutup, dimana pada bagian ini membahas tentang kesimpulan, dan saran yang diberikan penulis. Dan untuk bagian akhir yaitu berisi tentang daftar Pustaka, daftar Riwayat hidup dan lampiran-lampiran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang relevan

Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan, penulis mengacu pada beberapa jurnal nasional dan internasional, diantaranya;

[1] **“Performance Test of Gas Turbine Part Of The Combined Cycle”** menjelaskan bahwa tentang pengujian parameter turbin gas dari suatu pembangkit listrik tenaga gas dan uap , dimana sistem ini dirancang untuk sistem bahan bakar ganda, baik bahan bakar minyak maupun bahan bakar gas.

[2] **“Tinjauan singkat system PLTP siklus gabungan sarulla menggunakan format energy converter”**. Dimana dalam jurnalnya menjelaskan tentang teknologi ormat *energy converter* dapat dikembangkan dan digunakan di pembangkit listrik panas bumi di Indonesia, dan dapat diinjeksi Kembali ke dalam bumi melalui reinjection well dan dapat dimanfaatkan Kembali untuk menghasilkan listrik untuk kapasistas kecil.

[3] **“Analisa Efisiensi dan pemanfaatan gas buang turbin gas alshtom pada pembangkit listrik tenaga gas kapasitas 20 Mw”** , dalam jurnalnya menjelaskan bahwa siklus dari suatu turbin gas yakni menyimpang dari siklus ideal, yang disebabkan karena adanya kerugian pada komponen kompresor.

[4] **“Perancangan turbin uap untuk siklus gabungan”** dalam jurnalnya menjelaskan bahwa turbin gas beroperasi pada temperature yang tinggi sekitar 1100-1650 *Celcius*. Temperatur gas-gas hasil pembakaran pada turbin gas biasanya masih cukup tinggi.

[5]” **Analisis efisisensi siklus combined cycle power plant (CCPP) Gas turbine generator terhadap beban operasi PT Kratau Daya listrik** “dalam jurnalnya menjelaskan bahwa menganalisa jumlah *energy* yang dihasilkan dari sebuah pembangkit merupakan factor penting dalam menjaga agar *efisiensi* sekitar 70 %- 90 %.

[6]”**Analisa aliran Daya pada system tenaga listrik menggunakan ETAP 12.6”** yang menjelaskan *study* Analisa aliran daya yaitu pembelajaran dalam rangka mendapatkan mengenai analisa *load flow* atau aliran daya pada suatu kondisi saat *system* operasi yang dimana tujuan dilakukannua Adalah untuk mengetahui dan mendapatkan operasi *system* yang baik dan terevaluasi sesuai dengan kondisi dari pembangkitan dan pembebanan aliran daya tersebut. Factor daya dan arus serta paling utama yaitu perhitungan dan bagaimana mengetahui proses dari aliran daya pada *system* tanaga Listrik.

[7]“**Medelling Renewable Energy Sources For Harmonic Assessments in DigSILENT Power Factory : Comparison of different Approaches**” oleh Grazia Todeschi membahas tentang analisis pemindaian frekuensi dapat dilihat sebagai penyelesaian persamaan jaringan, yang menjelaskan bahwa masing masing *vector* arus, *vector* tegangan, dan *matriks* admitansi pada *orde harmonic*. Yang menginjeksikan satu arus pu dan menghitung tegangan yang sesuai, admitansi *system* yang diperoleh dengan asumsi *linsentitas system*, analisis yang selalu menghasilkan frekuensi yang menghasilkan impedansi yang sama.

[8]“**Analisis factor-faktor yang memengaruhi permintaan tenaga Listrik konsumen sektor social PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)**” oleh Aminullah Assagaf yang membahas tentang perkembangan teknologi dan juga peningkatan peralatan elektronik dapat mereflesikan *variable* bebas yang dimana tingkat pemanfaatan kapasitas ternyata sangatlah berdampak terhadap permintaan kwh konsumen dari sektor social.

[9]“**Analisis Pernandingan Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigen HFC R-134A dan Hidrokarbon MC-134)**” oleh Roswati Nurhasanah yang membahas tentang penggunaan *refrigerant* HFC merupakan salah satu alternatif pengganti CFC yang ternyata memiliki dampak *Global Warming*, sehingga untuk mengurangi hal tersebut harus dilakukan penggantian *refrigerant* yang lebih ramah yaitu R013A jenis Hidrokarbon.

[10] “**Analisa Study Kelayakan Pembangunan PLTS 10 kWp di Graha YPK PLN)**” oleh Pawenary yang membahas tentang perencanaan PLTS di Graha YPK PLN sebagai pengganti penggunaan Listrik konvensional, membuat *system on grid* yang merupakan PLTS yang bisa mengurangi konsumsi Listrik di Graha YPK PLN.

[11]“**Analisa Kelayakan Eknomi dan Financial Pembangunan Jalan Tol Mengwi-Gilimanuk)**” oleh Jyoti Krisnanda yang membahas tentang kondisi *project* sebelum dilakukan memiliki besar derajat lalu lintas ditinjau dari sudut pandang investor dan dinyatakan layak sebab masih dalam keadaan baik dan menguntungkan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Industri Ketenagalistrikan

Industri ketenagalistrikan di dunia merupakan salah satu sektor yang sangat berpengaruh dalam jasa dan pelayanan suatu pekerjaan yang berhubungan dengan ketenagalistrikan. Adapun Bagian bagian yang merupakan kategori *industry* ketenagalistrikan adalah;

1. Sektor Pembangkitan
2. Sektor Transmisi

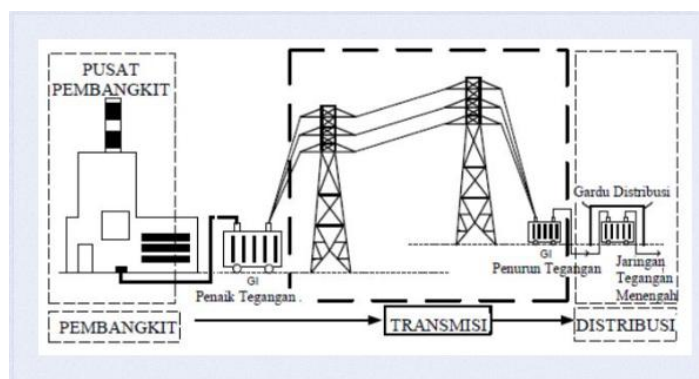
3. Sektor Distribusi

4. Sektor Instalasi Tenaga Listrik (layanan jasa pekerjaan ketenagalistrikan)

Semua sektor tersebut saling terhubung dan akan menghasilkan *industry* ketenagalistrikan yang dibutuhkan setiap wilayah dalam memenuhi kebutuhan pasokan *energy* listrik dalam menunjang kehidupan sehari-hari. Industri ketenagalistrikan merupakan suatu sektor yang memegang peran penting dalam kebutuhan hidup, semua kebutuhan dan juga kelangsungan hidup manusia bisa dibilang bergantung pada *industry* ini, sebagai contoh dalam kehidupan kita membutuhkan listrik untuk kelangsungan hidup agar lebih mudah, setiap rumah rumah membutuhkan sentuhan *industry* ini, kemudian kebutuhan sehari hari seperti air yang bisa dengan mudah diperoleh dengan mudah dengan bantuan *energy* listrik. Kebutuhan transportasi dan masih banyak hal lainnya.

2.2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari sistem pembangkitan, distribusi, transmisi, dan pembebanan. Proses suatu penyampaian tenaga listrik ke pelanggan yaitu dengan cara tenaga listrik yang dibedakan dalam suatu listrik seperti PLTA, PLTB, dan jenis pembangkit lainnya, kemudian dari pembangkit barulah disalurkan ke saluran transmisi, dimana sebelumnya di naikkandulu tegangannya oleh *transformator* ke saluran transmisi dimana sebelumnya di naikan dulu tegangannya oleh *transformator step up* pada pusat listrik tersebut, kemudian saluran transmisi di PLN secara garis besar memiliki tegangan sebesar 66 kV, 150 kV, dan 500 kV (Tegangan Ekstra Tinggi). Berikut ilustrasi sistem tenaga listrik :



Gambar 2 1 Ilustrasi Sistem Tenaga Listrik

Ketika tenaga listrik tersebut disalurkan melalui saluran transmisi, kemudian disalurkan kembali ke tenaga listrik menuju Gardu Induk (GI) dimana setelah itu diturunkan tegangannya melalui *Trafo Step Down* atau tegangan menengah

2.2.3. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik adalah sistem yang mengubah berbagai bentuk energi primer (seperti energi kimia, panas, mekanik, atau potensial air) menjadi energi listrik yang dapat digunakan oleh masyarakat dan industri. Proses konversi ini dilakukan melalui mekanisme elektromagnetik pada generator, di mana energi mekanik diubah menjadi energi listrik dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik.

2.2.3.1 Prinsip Dasar Konversi Energi

Secara umum, setiap pembangkit listrik terdiri atas tiga tahap utama:

1. Konversi energi primer menjadi energi mekanik (misalnya dari uap, air, atau angin yang memutar turbin).
2. Konversi energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan generator sinkron.
3. Penyaluran energi listrik melalui sistem transmisi dan distribusi menuju konsumen.

2.2.3.2. Jenis-jenis Pembangkit Tenaga Listrik

a. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU memanfaatkan pembakaran bahan bakar (batubara, minyak, atau gas) untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap tersebut digunakan untuk memutar turbin yang terhubung ke generator. Berikut gambar pembangkit listrik tenaga uap :



Gambar 2 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Komponen utama:

1. *Boiler* (penghasil uap)
2. Turbin uap
3. Kondensor
4. *Generator*
5. Sistem pendingin

b. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

PLTG menggunakan gas hasil pembakaran langsung untuk memutar turbin gas yang menggerakkan generator. Sistem ini sering dipakai sebagai pembangkit beban puncak karena waktu *start-up* yang cepat.

Berikut gambar pembangkit listrik tenaga Gas:

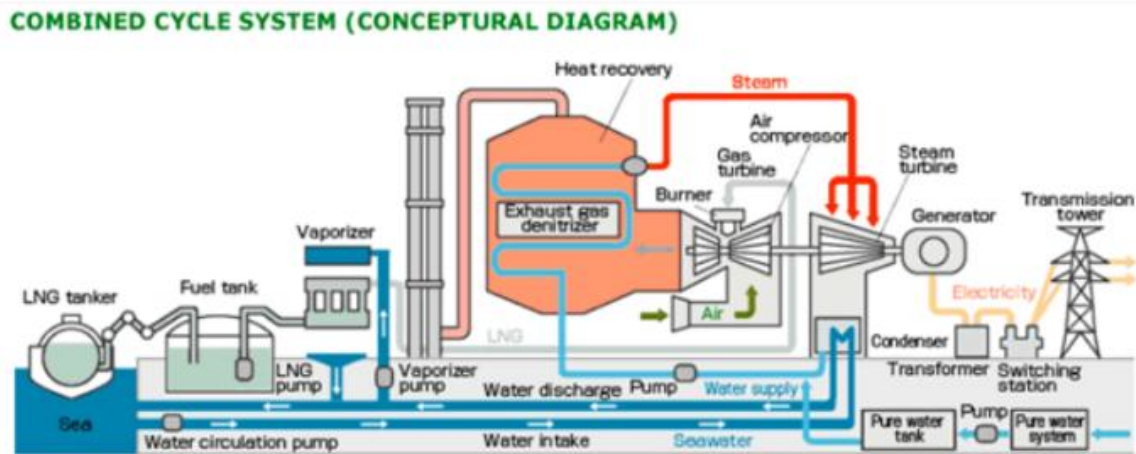


Gambar 2 3 Pembangkit Listrik Tenaga Gas

2.2.4. Combined Cycle Power plant

Peningkatan kebutuhan energi listrik global mendorong munculnya berbagai teknologi pembangkit yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu inovasi yang berkembang adalah sistem pembangkit listrik tenaga gas siklus gabungan (*Combined Cycle Power plant/CCPP*).

Teknologi ini mengombinasikan dua siklus *termodinamika*, yaitu siklus *Brayton* pada turbin gas dan siklus *Rankine* pada turbin uap, untuk memaksimalkan pemanfaatan energi dari bahan bakar. Berikut gambar konsep diagram *combined cycle* :



Gambar 2 4 Ilustrasi Combined Cycle

2.2.4.1. Prinsip Dasar *Combined Cycle Power plant*

PLTG Siklus Gabungan bekerja dengan prinsip pemanfaatan panas buang dari turbin gas untuk menghasilkan uap air yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Integrasi ini meningkatkan efisiensi termal sistem secara signifikan. Dalam sistem konvensional, sebagian besar panas terbuang ke atmosfer, sedangkan pada CCPP, panas tersebut diubah menjadi energi tambahan melalui siklus uap.

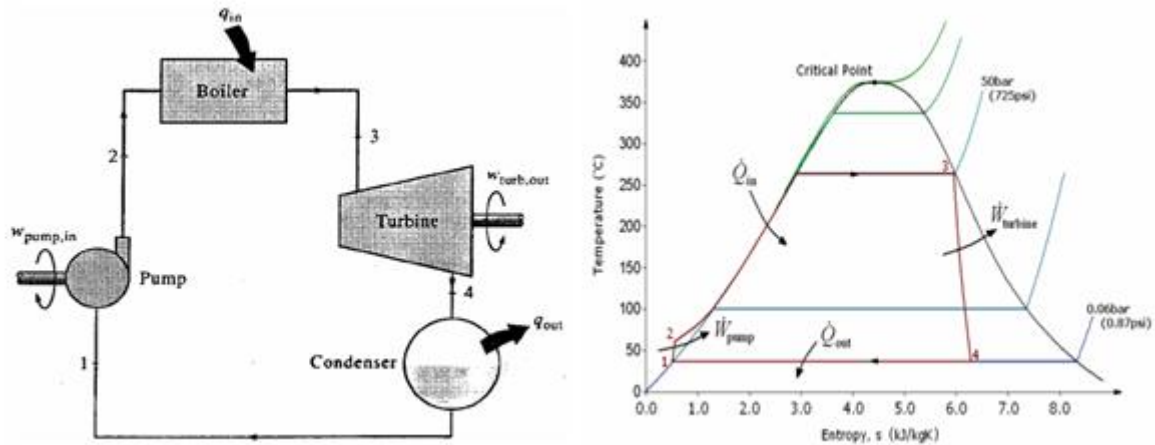
2.2.4.2. Komponen Utama Sistem

Komponen utama dalam sistem ini meliputi:

1. Turbin Gas, yang mengubah energi panas hasil pembakaran menjadi energi mekanik;
2. *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG), yaitu alat penukar panas yang mengonversi gas buang panas menjadi uap;
3. Turbin Uap, yang menghasilkan energi listrik tambahan dari uap yang dihasilkan HRSG, serta Sistem pendingin dan generator

2.2.4.3. Siklus *Termodinamika: Brayton dan Rankine*

Siklus *Brayton* berfungsi sebagai siklus atas (*topping cycle*) dengan proses utama kompresi udara, pembakaran bahan bakar, dan ekspansi gas pada turbin. Sementara itu, siklus *Rankine* sebagai siklus bawah (*bottoming cycle*) memanfaatkan panas buang dari turbin gas untuk menguapkan air menjadi uap yang memutar turbin uap. Kombinasi kedua siklus ini menghasilkan efisiensi termal lebih dari 55% hingga 60% pada kondisi optimal. Berikut gambar siklus termodinamika *Brayton* dan *Rankie* :



Gambar 2.5 Siklus Termodinamika Bryaton dan Rankie

Dalam sistem pembangkit tenaga listrik, energi panas diubah menjadi energi mekanik, kemudian menjadi energi listrik melalui proses termodinamika tertentu yang disebut siklus daya (*power cycle*). Dua siklus utama yang banyak digunakan adalah Siklus *Brayton* dan Siklus *Rankine*. Keduanya menggambarkan bagaimana *fluida* kerja mengalami proses pemanasan, ekspansi, pendinginan, dan kompresi secara berulang untuk menghasilkan energi.

A). Siklus *Brayton* (*Gas Turbine Cycle*)

a. Prinsip Dasar

Siklus *Brayton* digunakan pada pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) atau turbin gas. *Fluida* kerja yang digunakan biasanya udara atau campuran gas pembakaran.

Proses utama dalam siklus ini berlangsung secara kontinu dan melibatkan empat tahap:

1. Kompresi *Isentropik*

Udara dikompresi oleh *compressor*, sehingga tekanan dan suhu meningkat.

2. Pemanasan *Isobarik*

Udara bertekanan tinggi dipanaskan dalam ruang bakar pada tekanan konstan. Energi panas berasal dari pembakaran bahan bakar gas.

3. Ekspansi *Isentropik*

Gas panas diekspansikan di *turbine*, menghasilkan energi mekanik yang digunakan untuk memutar generator dan kompresor.

4. Pembuangan *Isobarik*

Gas buang keluar dari turbin pada tekanan konstan dan dibuang ke *atmosfer* atau digunakan lagi (pada sistem siklus gabungan).

b. Diagram T–S (Temperatur–Entropi)

Pada diagram T–S, siklus *Brayton* membentuk empat titik:

Kompresi (1–2): kenaikan tekanan

Pemanasan (2–3): kenaikan suhu

Ekspansi (3–4): turbin menghasilkan kerja

Pendinginan (4–1): pelepasan panas

B). Siklus *Rankine* (*Steam Turbine Cycle*)

a. Prinsip Dasar

Siklus *Rankine* merupakan siklus dasar pada pembangkit tenaga uap (PLTU), di mana air digunakan sebagai *fluida* kerja. Tujuan utamanya adalah mengubah energi panas dari bahan bakar menjadi energi mekanik dan listrik.

Empat tahap utama dalam siklus *Rankine* adalah

1. Pemompaan *Isentropik*

Air cair ditekan menggunakan *feedwater pump* dari tekanan kondensor ke tekanan boiler.

2. Pemanasan *Isobarik*

Air bertekanan tinggi dipanaskan dalam *boiler* hingga menjadi uap jenuh atau *superheated*.

3. Ekspansi *Isentropik*

Uap bertekanan tinggi masuk ke *turbine* dan mengembang, menghasilkan energi mekanik.

4. Pembuangan *Isobarik*

Uap keluaran turbin didinginkan dalam *kondensor* hingga menjadi air cair, kemudian dikembalikan ke pompa untuk mengulangi siklus.

b. Diagram T–S (Temperatur–Entropi)

Siklus *Rankine* juga memiliki empat proses utama:

(1–2) Kompresi cair oleh pompa

(2–3) Pemanasan dan penguapan di *boiler*

(3–4) Ekspansi uap di turbin

(4–1) Kondensasi di kondensor

2.2.3.4. Konfigurasi Sistem

Dua konfigurasi umum digunakan dalam CCPP, yaitu konfigurasi poros tunggal (*single-shaft*) dan konfigurasi multi-poros (*multi-shaft*). Pada sistem *single-shaft*, turbin gas, HRSG, dan turbin uap dihubungkan pada satu poros dengan satu generator.

Sementara pada sistem *multi-shaft*, setiap turbin gas memiliki HRSG terpisah dan dihubungkan ke turbin uap tersendiri. Beberapa sistem juga menggunakan pembakar

tambahan (*supplementary firing*) untuk meningkatkan produksi uap.

2.2.3.5. Efisiensi dan Keunggulan

Efisiensi termal yang tinggi menjadi keunggulan utama PLTG siklus gabungan. Dengan memanfaatkan panas buang, konsumsi bahan bakar per satuan energi listrik yang dihasilkan dapat dikurangi. Selain itu, emisi karbon dioksida lebih rendah dibandingkan pembangkit berbahan bakar fosil konvensional. Sistem ini juga memiliki fleksibilitas operasi yang baik, mampu menyesuaikan diri terhadap variasi beban listrik dengan cepat.

2.2.3.6. Tantangan dan Aspek Lingkungan

Meskipun efisien, sistem CCPP memiliki tantangan seperti kebutuhan investasi awal yang besar dan ketergantungan terhadap ketersediaan air untuk sistem pendingin. Selain itu, meskipun emisi CO₂ lebih rendah, tetap terdapat emisi *nitrogen oksida* (NO_x) yang perlu dikendalikan menggunakan teknologi reduksi katalitik. Penggunaan sistem pendingin kering menjadi alternatif untuk mengurangi kebutuhan air, namun dapat menurunkan efisiensi operasi.

2.2.5. Perangkat Lunak *DIgSILENT*

DIgSILENT PowerFactory merupakan perangkat lunak profesional untuk analisis sistem tenaga listrik yang digunakan secara luas di dunia industri dan akademik. Aplikasi ini mampu mensimulasikan sistem pembangkitan, transmisi, distribusi, serta integrasi sumber energi terbarukan. PowerFactory dikembangkan oleh perusahaan *DIgSILENT GmbH* dari Jerman, dan dikenal karena keakuratan model matematis serta fleksibilitasnya dalam analisis teknik tenaga.

2.2.4.1. Aplikasi Utama *DIgSILENT* Power Factory

Power Factory digunakan untuk berbagai keperluan, antara lain:

- Analisis Aliran Daya (*Load Flow Analysis*) .

Berikut gambar aplikasi *DIgSILENT* :



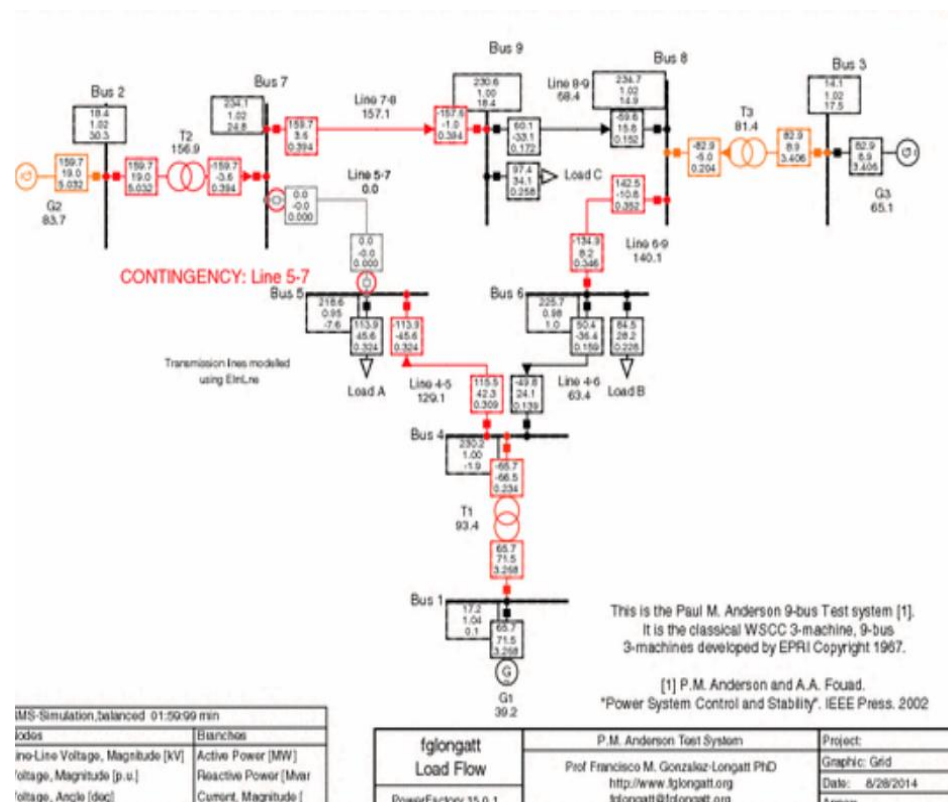
Gambar 2 6 Aplikasi *DIgSILENT*

Suatu analisis *load flow* yang merupakan proses perhitungan dalam suatu sistem tenaga listrik yang dimana memiliki tujuan untuk mengetahui bagaimana daya listrik baik aktif maupun istilah reaktif, tujuan utama analisis aliran daya yaitu bisa menentukan nilai dari tegangan di setiap bus atau node suatu sistem tenaga, bisa menghitung daya aktif, reaktif pada saluran transmisi, juga bisa menghitung rugi rugi daya atau losses di jaringan.

- Studi Hubung Singkat (*Short Circuit Analysis*)

Suatu teknik analisis dalam suatu sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk menghitung arus gangguan atau biasa di sebut arus hubung singkat yang dimana terjadi ketika terdapat dua atau lebih titi penghantar yang dimana seharusnya di katakan istilah terisolasi atau satu sama lain mengalami kontak langsung dan tidak langsung.

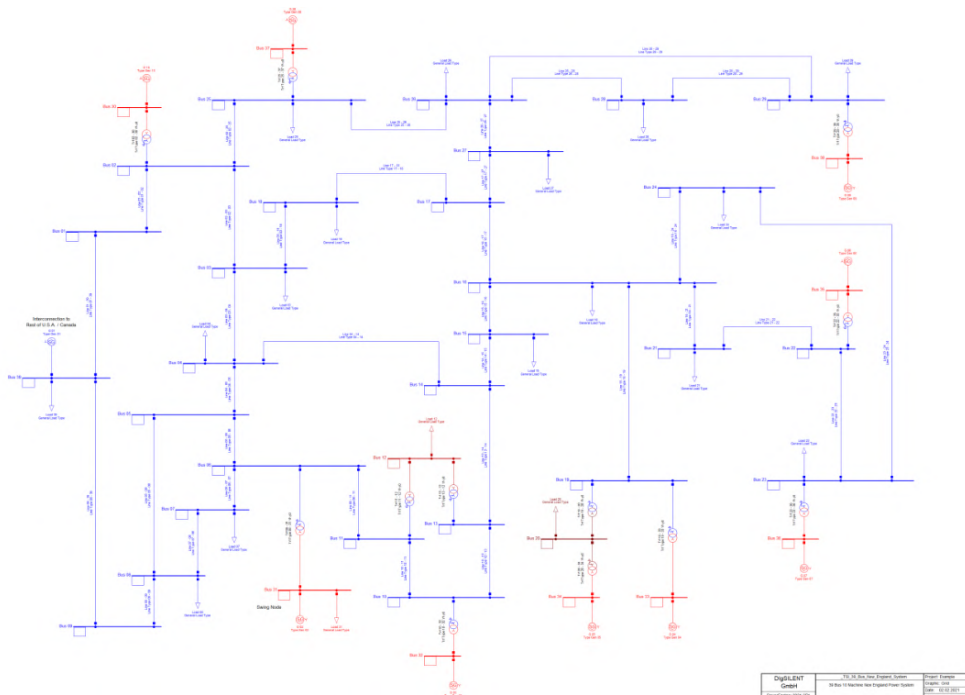
Berikut gambar pengoperasian analisis *DigSilend*.



Gambar 2 7 Pengoperasian Analis DigSILENT

Study hubung singkat juga dapat dikatakan untuk menentukan besarnya arus gangguan yang muncul di titik titik tertentu pada sistem tenaga kelistrik.

Berikut gambarnya :



Gambar 2 8 Contoh Pengoperasian DigSILENT

- Studi *Stabilitas Transien* dan *Dinamis*

Suatu analisis yang menggunakan suatu perilaku sistem tenaga listrik yang setelah terjadi suatu gangguan seperti hubung singkat, kehilangan beban atau terdapatnya trip pada suatu generator), pada fitur analisis ini juga di masukkan kedalam kategori analisis jangka pendek seperti detik hingga puluhan detik dari sistem tenaga listrik.

a). Studi *stabilitas transient*, yaitu suatu *study* yang bisa merespon dalam jangka pendek mulai dari detik sampai dengan puluhan detik, kemudian fokus utama pada *study* ini yaitu berfokus pada sudut rotor generator, frekuensi, dan suatu tegangan agar dapat di tentukannya suatu sistem tersebut dalam keadaan sinkron. Atau dalam istilah lain yaitu merupakan fitur yang digunakan untuk simulasi dari waktu ke waktu (*time domain simulation*) terhadap suatu persamaan dinamik mesin, governor, AVR dan sistem eksitasi.

b). *Study Stabilitas Dinamis* (*Dynamic stability study*) yaitu suatu *study* yang bisa menganalisis respon jangka menengah hingga panjang atau menit , dimana setelah sistem kembali ke kondisi normal pasca gangguan, fokus utama dari *study stablitas* dinamis yaitu pada daya daya kecil, kontrol otomatis dan respon pada pengatur frekuensi dan tegangan.

- Analisis *Harmonik* dan *Flicker*

Suatu analisis pada Digsilent yang merupakan analisis harmonik dan flicker atau singkatnya merupakan bagian dari studi kualitas daya (*power quality analysis*) yang dapat digunakan untuk

menilai seberapa baik sistem tenaga listrik tersebut untuk mempertahankan bentuk gelombang dari tegangan dan arus ideal (*sinusoidal*). Adapun analisis ini juga dapat mengetahui distorsi dari gelombang tegangan dan arus akibat adanya beban yang termasuk dalam kategori *Non-Linear* sebagai contoh *inverter*, *rectifier*, atau peralatan elektronik industri. Metode yang digunakan dalam analisis ini yaitu *frequency scan* atau harmonik *load flow* yang melakukan perhitungan total dari *harmonic distortion* (THD) dan juga *individual harmonic order*, atau rentang waktu seperti 3rd, 5th, 7th.

Sedangkan untuk analisis *Flicker* yaitu analisis yang menilai *fluktuasi* tegangan jangka pendek dan panjang yang menyebabkan terjadinya kedipan cahaya/*Light flicker*.

- Optimasi Operasi Sistem Tenaga

- Integrasi Energi Terbarukan (*Wind*, *Solar PV*, *Hydro*)

Suatu fitur yang berfungsi untuk menintegrasikan *energy* terbarukan (*renewable energy integration*) yang digunakan untuk menganalisis dampak, kinerja, dan juga stabilitas sistem tenaga atau sumber energi tenaga listrik digabungkan ke dalam jaringan listrik.

- Analisis Proteksi dan Koordinasi *Relay*

Merupakan suatu fitur yang bertujuan untuk melakukan analisis proteksi untuk melihat kondisi keandalan, selektivitas pada sistem proteksi dari tenaga listrik tersebut. Dimana agar gangguan tersebut dapat diisolasi secepat dan juga sesempit mungkin tanpa memengaruhi bagian dari sistem lain yang bisa dikatakan normal. Analisis ini juga akan menghitung nilai dari sistem proteksi seperti *relay*, *fuse*, CB apakah bisa mendeteksi atau pun memutus gangguan/ *short circuit*, *overload*, *ground fault* yang terjadi.

Sedangkan untuk koordinasi relay bertujuan untuk memastikan kembali urutan kerja dari relay dan juga CB atau pemutus tenaga tersebut sudah selektif atau belum, dimana apa bila relay terdekat dengan titik gangguan yang diberikan bekerja terlebih dahulu akan menyebabkan relay upstream bekerja sebagai backup dalam waktu tertentu. Fitur ini juga menampilkan grafik hubungan arus dan juga waktu antar relay tersebut.

Perangkat ini mendukung berbagai jenis jaringan, baik sistem tegangan tinggi, menengah, maupun rendah.

2.2.6. Konsep Dasar Uji Kelayakan Ekonomi

Uji kelayakan ekonomi adalah proses untuk menilai apakah suatu proyek layak dijalankan dari sisi uang, atau apakah manfaat finansial yang diterima di masa depan cukup untuk menutup biaya investasi dan biaya operasional, dengan mempertimbangkan nilai waktu uang (uang hari ini lebih berharga dari pada uang di masa depan)

Dalam praktiknya, uji kelayakan ekonomi membahas tentang apakah proyek menghasilkan nilai

tambah, seberapa menarik tingkat pengembaliannya, dan seberapa cepat modal kembali, dan seberapa sensitif proyek terhadap perubahan kondisi.

Dalam praktik studi kelayakan, uji ini digunakan sebagai dasar keputusan management, dimana menjelaskan apakah proyek layak diteruskan, perlu perbaikan skema, atau sebaiknya ditunda/ditolak karena beban biaya dan risiko terlalu tinggi dibandingkan manfaatnya.

1. Prinsip Utama (Nilai Waktu Uang)

Landasan penting dalam kelayakan ekonomi adalah nilai waktu uang. Uang yang dimiliki sekarang bisa dipakai untuk kegiatan produktif (misalnya diinvestasikan) dan risikonya lebih kecil dibanding menunggu uang yang sama diterima beberapa tahun lagi. Karena itu, arus kas masa depan harus dikonversi ke nilai saat ini menggunakan tingkat diskonto. Semakin tinggi tingkat diskonto, semakin kecil nilai arus kas di masa depan jika dinilai pada waktu sekarang.

2. Arus Kas (*Cash Flow*)

Uji kelayakan ekonomi umumnya memakai arus kas (*cash flow*), bukan laba akuntansi. Alasannya, laba bisa dipengaruhi oleh metode pencatatan (penyusutan, amortisasi, kebijakan akuntansi), sedangkan arus kas lebih menggambarkan kemampuan proyek “menghasilkan uang nyata” untuk:

- mengembalikan investasi,
- membayar biaya operasional,
- menutup pajak,
- dan memenuhi kewajiban lain (misalnya cicilan/biaya pendanaan jika dihitung).

Karena itu, komponen utama yang dihitung biasanya:

1. *CAPEX*: biaya investasi awal dan biaya konstruksi/pengadaan utama.
2. *OPEX*: biaya operasi dan pemeliharaan selama proyek berjalan.
3. *Revenue*: pendapatan dari output proyek (misalnya penjualan energi).
4. Pajak: sesuai aturan yang berlaku.
5. Nilai sisa (jika ada): nilai aset di akhir umur proyek.

3. Tingkat Diskonto

Tingkat diskonto adalah angka yang dipakai untuk “menarik” nilai arus kas masa depan ke nilai sekarang. Dalam proyek, tingkat ini sering dianggap mewakili biaya modal dan tingkat risiko, sehingga digunakan sebagai patokan minimal: proyek seharusnya menghasilkan arus kas yang cukup untuk “mengalahkan” biaya modal tersebut. Secara logika, jika proyek menghasilkan pengembalian lebih rendah daripada biaya modal, maka secara finansial proyek tidak menarik, karena modal akan lebih efisien dipakai untuk alternatif.

4. Ukuran Kelayakan Ekonomi

Untuk menilai proyek, biasanya digunakan beberapa indikator agar keputusan bisa dinyatakan layak dengan mencari nilai dari :

1) *Net Present Value* (NPV)

NPV menggambarkan nilai tambah bersih proyek dalam satuan uang saat ini. Konsepnya sederhana: semua arus kas tahunan didiskontokan, kemudian dijumlahkan dan dibandingkan dengan investasi awal. Jika hasil akhirnya positif, artinya proyek memberi nilai tambah pada tingkat diskonto yang digunakan. Bila negatif, berarti manfaat finansial tidak cukup menutup biaya pada standar risiko/biaya modal tersebut.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Rt}{(1+r)^t} - I_0 \dots\dots\dots(2.1) [12].$$

Dengan lebih rinci sebagai berikut: [13].

$$NPV = \frac{C_1}{(1+r)^1} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \dots \frac{C_n}{(1+r)^n} - C_0 \dots\dots\dots(2.2) [12].$$

Dimana;

- C_t : *Cash Flow* (Arus kas masuk bersih) yang di hasilkan pada periode waktu t (atau biasa di sebut tahun 1,2,3 dst.
- NPV adalah *Net Present Value* atau nilai bersih yang dihasilkan dari perhitungan
- C_0 : *Initial Cost* Atau istilah lain merupakan investasi awal yang merupakan jumlah uang yang di keluarkan pada waktu 0 , atau biaya modal awal)
- r : adalah discount rate atau biasa di sebut tingkat diskonto, atau biaya modal dari suatu perusahaan
- t : suatu periode waktu dari tahun ke-1 , ke-2,dst.
- n : dapat diartikan sebagai umur ekonomis atau periode total dari suatu investasi.

2) *Internal Rate of Return* (IRR)

IRR adalah tingkat pengembalian internal yang membuat proyek berada pada kondisi “impas” secara nilai sekarang (NPV = 0). IRR sering dipakai untuk melihat seberapa besar kemampuan proyek menghasilkan return. Dalam pengambilan keputusan, IRR biasanya dibandingkan dengan tingkat diskonto/biaya modal: jika IRR lebih tinggi, proyek cenderung menarik; jika lebih rendah, proyek dianggap kurang kompetitif.

Menurut Husnan dan suwarnono, dapat di hitung melalui rumus:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Rt}{(1+r)^t} - I_0 \dots\dots\dots(2.3) [14].$$

Dimana :

Nilai IRR adalah tingkat diskonto yang merupakan $NPV = 0$. Sehingga IRR yang digunakan untuk mengukur *efisiensi investasi* dan membandingkan dengan Tingkat pengembalian yang di harapkan.

3) *Profitability Index (PI)*

PI menunjukkan efisiensi investasi dalam bentuk rasio, berapa besar nilai sekarang manfaat dibandingkan nilai sekarang biaya. PI berguna ketika ada beberapa proyek dan dana terbatas, karena membantu memilih proyek yang memberikan nilai manfaat paling besar per satuan dana investasi.

Untuk rumus dari *Profitabilty index (PI)*.

$$P1 = \frac{\text{Nilai Sekarang Arus Kas Masuk Masa Depan}}{\text{Nilai Sekarang Arus Kas Keluat (Investasi Awal)}} \dots\dots\dots(2.4) [14]$$

Atau jika berkaitan dengan NPV :

$$P1 = \frac{NPV + \text{Investasi Awal}}{\text{Investasi Awal}} \dots\dots\dots(2.5) [15]$$

4) *Payback Period (PP)*

PP menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan agar modal kembali melalui akumulasi arus kas. Metode ini populer karena mudah dan cepat memberi gambaran risiko likuiditas. Namun, PP biasanya dipakai sebagai indikator pendukung, karena versi sederhana tidak menilai nilai waktu uang dan tidak memperhitungkan manfaat setelah periode balik modal.

Berikut Rumus *Payback Period*

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{investasi awal}}{\text{Arus kas masuk bersih tahunan}} \dots\dots\dots(2.6). [16].$$

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

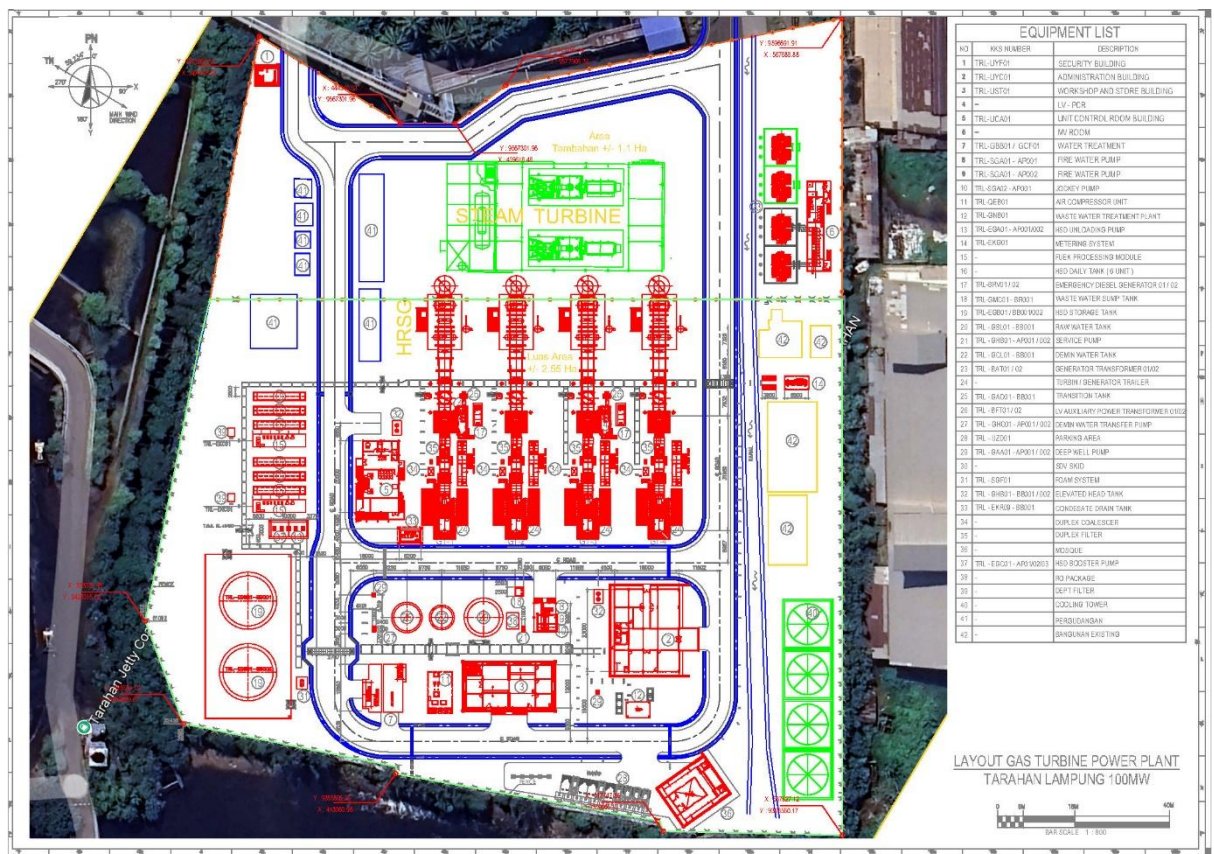
Dalam melakukan penelitian, adapun rincian kegiatan yang dilakukan penulis yaitu ; Lokasi yang penulis pilih dalam melakukan penelitian adalah PLTG MPP Tarahan Lampung , pada rentang waktu penelitian bulan April s.d Juni 2025 yang berada di Jl. Lintas Sumatera, Rangai Tri Tunggal, Kec. Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung.

3.2 Desain Penelitian

Berikut desain penelitian yang dilakukan

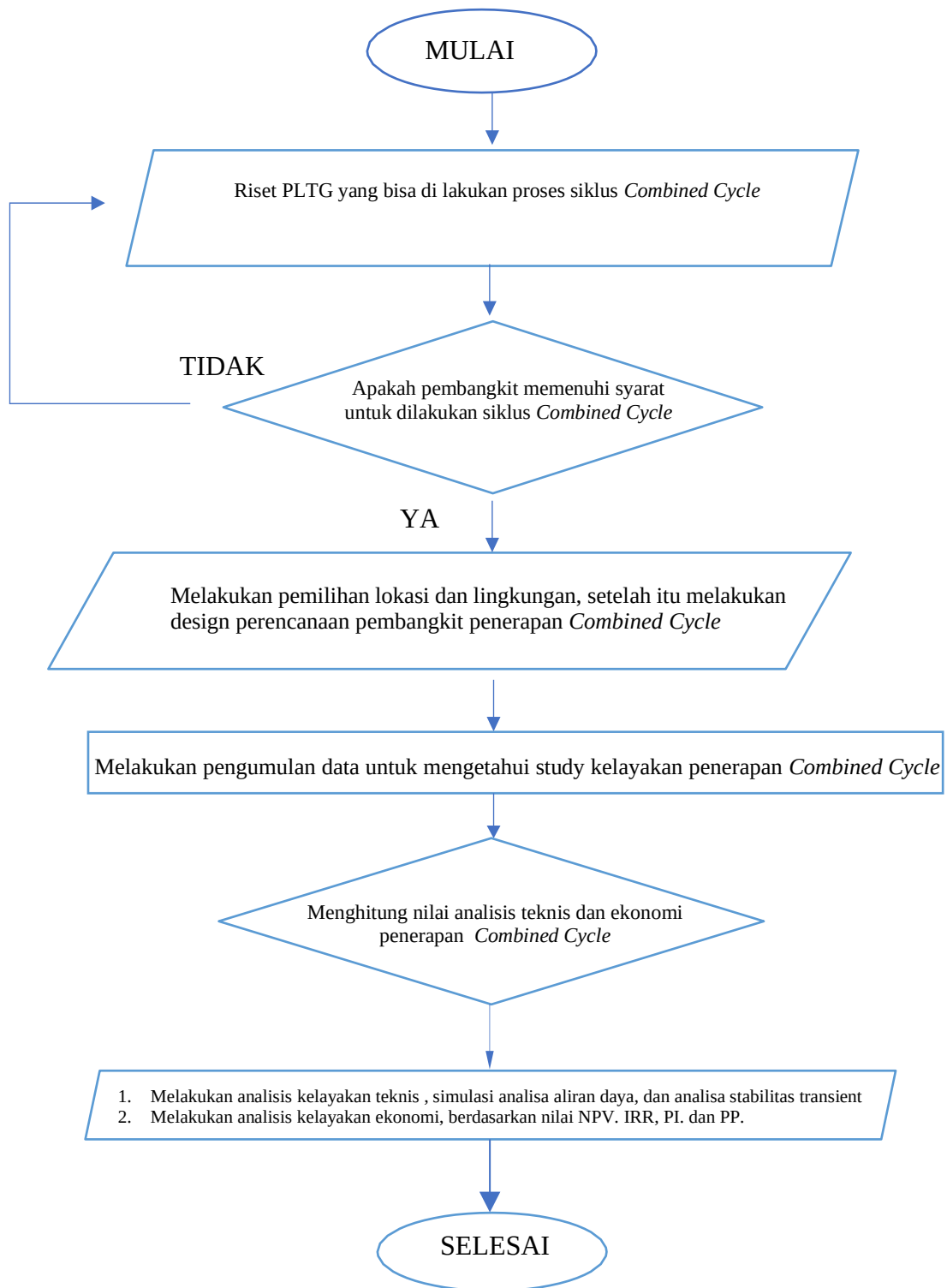
3.2.1. Rencana rancangan penelitian

Adapun rancangan penelitian untuk penerapan *Combined Cycle* yaitu sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Rancangan Penelitian CCPP MPP Tarahan

3.2.2.Flowchart



Gambar 3. 2 Design Penelitian

3.3 Metode Pengumpulan Data

Dalam Penelitian ini, adapun metode pengumpulan data yang di lakukan yaitu ;

a. Data Langsung (*Observation methode*)

Dimana maksud dari metode pengumpulan data ini adalah dengan menggunakan pengambilan data secara langsung di lokasi dan sesuai dengan apa yang sebenarnya terjadi data yang di jadikan sampel penelitian yaitu;

Survey langsung ke Lokasi PLTG MPP Tarahan, meliputi:

1. Data Jaringan Transmisi & Distribusi.(line, trafo, busbar)
2. Data Pembangkit (Generator, pembangkit, ebt, pembebanan)
3. Data peralatan,system control,data gangguan,data operasi system.
4. Data tambahan seperti SLD, existing, beban puncak dan minimum.

b. Data Tidak langsung (*Interview Methode*)

Dimana maksud dari metode pengumpulan data yang diteliti adalah data yang didapatkan dari:

1. “*Report analisis*” *PLTG sistem* [17],
2. *Data RUPTL 2021-2030* [18] , dan
3. *Data ketenagalistrikan di PT PLN UIPBS UPT Tanjung Karang* [17].

c. Dokumentasi

Dalam penelitian ini melakukan metode pengumpulan data dengan cara dokumentasi seperti laporan-laporan, catatan catatan , dan formulir yang terdapat pada perusahaan pembangkit yang ada di MPP Tarahan, data yang diperoleh yaitu data teknis dalam PLTG Tarahan Lampung

d. Study Literatur

Yaitu metode pengumpulan data dari mencari *referensi* dan penelitian yang *relevan* dan berhubungan dengan penelitian

3.4 Metode Analisis Data

Adapun Metode Analisis data yang digunakan yaitu:

3.4.1. Study Penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan Lampung

Dalam melakukan analisis rencana *study* penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan Lampung adalah dengan menggunakan dua cara analis yaitu dengan meninjau kriteria lokasi dan menggambarkan serta menyesuaikan bagaimana design apabila dilakukan penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan Lampung. Berikut cara metode analisis data yang

dilakukan:

1. Pemilihan Lokasi dan Lingkungan

Dalam melakukan pemilihan lokasi dan lingkungan perlu dilakukan beberapa pencarian informasi dan mengenai, Jarak lokasi

2. Design Pembangkit *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan

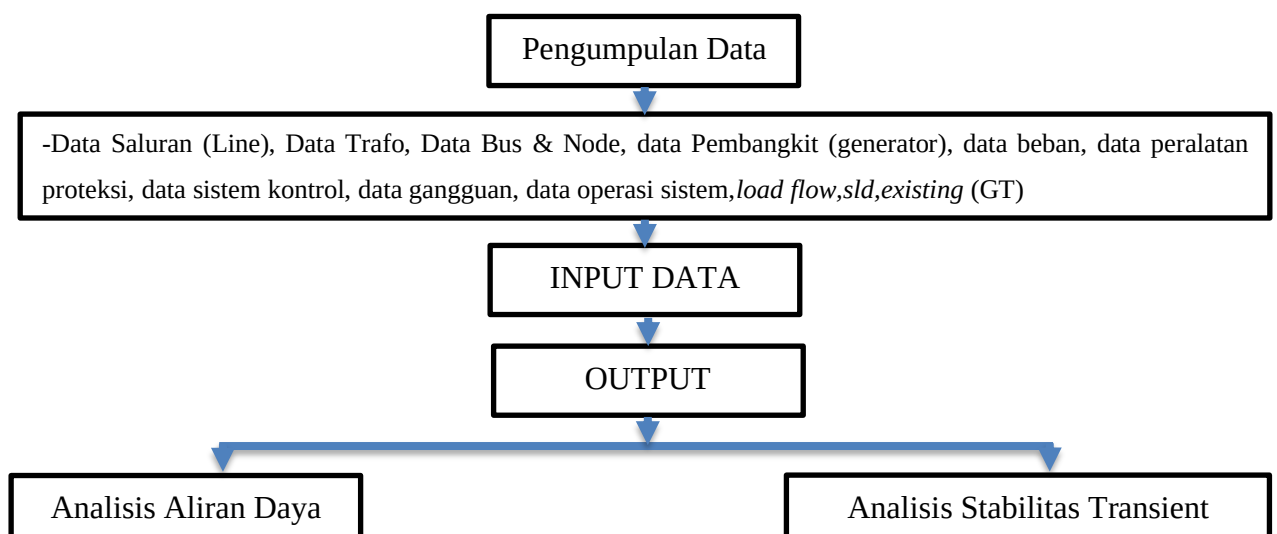
Dalam melakukan design pembangkit *Combined Cycle* mengikuti standar aturan dalam pembuatan pembangkit PLTGU , sesuai dengan struktural dan mekanisme cara kerja *Combined Cycle* berdasarkan prinsip kerja PLTGU , pada siklus *Brayton* Siklus [19], *Rankine* [20], dan siklus kombinasi [21], Menjelaskan secara general dampak penerapan *combined cycle* secara secara eknomi,sosial dan politik, dan kebaruaran terkait penerapan tersebut.

(Metode analisis berdasarkan sumber penelitian dari Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2018), *Rankine*, W. J. M. (1859). *A Manual of the Steam Engine and Other Prime Movers*. Charles Griffin.)

3.4.2. Analisis Kelayakan Teknis Penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan Lampung

Dalam melakukan analisis Kelayakan Tecno pada penerapan *Cembinded cycle* PLTG MPP Tarahan menggunakan 2 jenis analisa yaitu analisa aliran daya dan analisa stabilitas transient, dalam melakukan analisis aliran daya dan stabilitas transient berikut Arsitektur dan cara kerja untuk penggunaan perangkat lunak digsilend

Gambar 3.3 1 Arsitektur dan opimalisasi DIgSILENT



3.4.1.1 Analisa Aliran Daya

Metode analisis ketenagalistrikan yang menggunakan perangkat lunak terkemuka yang digunakan secara luas dalam *industry* listrik yang dapat melakukan analisis semua *system* kelistrikan yang menjadi pengganti data secara *real-time*. Perangkat lunak *Digsilent* juga dapat diartikan sebagai program yang berfungsi untuk mengetahui simulasi, analisis perencanaan, dan pengoperasian *system* tenaga Listrik, baik di jaringan transmisi, distribusi, pembangkit, maupun *system industry*.

Analisis aliran daya dimaksudkan agar mendapatkan dampak operasi pembangkit *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan terhadap tegangan bus di beberapa Gardu Induk dan pembebanan jaringan transmisi. Analisis aliran daya ini juga berfungsi untuk mendeteksi dan melaporkan jika terdapat tegangan dan pembebanan saluran yang berada di luar batas aman yang berlaku. Kasus-kasus yang ditinjau adalah sebagai berikut: simulasi dilakukan saat kondisi beban puncak malam dan dilakukan simulasi Kontingensi saluran N-1 sebelum dan sesudah Interkoneksi *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan ke Subsistem kelistrikan Lampung. Semua hasil simulasi yang diperoleh harus memenuhi rentang tegangan yang diijinkan sesuai dengan aturan jaringan kelistrikan Sumatera-Bangka dan tidak ada line overload pada jaringan transmisi.

Skenario yang akan dilakukan dalam analisa aliran daya adalah sebagai berikut:

- a. Sebelum *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan Beroperasi
- b. Setelah *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan Beroperasi

Simulasi sistem tenaga listrik akan dilakukan untuk melihat dampak *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan terhadap jaringan interkoneksi Lampung. Perangkat lunak untuk melakukan simulasi sistem tenaga menggunakan *DIgSILENT PowerFactory*. Model yang telah dibuat telah disesuaikan dengan RUPTL 2021 – 2030.

Simulasi akan dilakukan dengan mengasumsikan kondisi sistem pada waktu malam hari dan jadwal operasi *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan akan direncanakan COD di tahun 2030.

Beberapa asumsi yang dibuat didalam studi ini antara lain:

- Studi sistem tenaga listrik menggunakan program *DIgSILENT PowerFactory*. [22]
- Data pengembangan sistem berdasarkan informasi dari RUPTL 2021 – 2030. [18]
- Rencana tahun operasi komersial *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan di tahun 2030 sehingga model simulasi menyesuaikan kondisi sistem sesuai dengan perencanaan di RUPTL.
- Simulasi dilakukan saat beban puncak pada malam hari di tahun 2030 dengan perkiraan beban puncak 1500 MW.

- Untuk model beban diasumsikan beban yang tergantung dengan kondisi tegangan grid (voltage dependency load) dan merupakan beban statis.
- Semua seksi transmisi dan transformer tenaga didalam sistem beroperasi dalam keadaan normal.

(Sumber informasi pengolahan data : Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). Pedoman Teknis Studi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak *DIGSILENT PowerFactory*. Jakarta: Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan dan RUPTL 2025-2034 PT PLN Persero)

Kriteria sistem tenaga listrik disusun berdasarkan dokumen acuan dan standar yang berlaku. Kriteria ini penting dalam melakukan analisa sistem tenaga listrik untuk mengetahui kondisi sistem yang dapat dibedakan menjadi 4 (empat) yaitu:

a. Kriteria Tegangan

Berdasarkan dokumen Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (*Grid Code*), level tegangan pada sistem kelistrikan di Indonesia beserta batasan nilai normal yang diizinkan untuk beroperasi secara terus menerus dalam sistem dapat diamati pada tabel berikut. [23].

No	Level Tegangan	Persentase Batas Bawah	Persentase Batas Atas	Tegangan Batas Bawah	Tegangan Batas Atas
1	20 kV	-10 %	+5 %	18 kV	21 kV
2	70 kV	-10 %	+5 %	63 kV	73,5 kV
3	150 kV	-10 %	+5 %	135 kV	157,5 kV
4	275 kV	-5 %	+5 %	261,25 kV	288,75 kV
5	500 kV	-5 %	+5 %	475 kV	525 kV

Tabel 3. 1 Batasan Nilai normal aturan jaringan sistem tenaga listrik

Berdasarkan dokumen Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (*Grid Code*), frekuensi sistem harus dijaga pada kondisi normal secara kontinu dengan memperhatikan keseimbangan daya yaitu daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkitan harus dapat memenuhi seluruh kebutuhan beban sistem dan juga rugi-rugi jaringan. Kriteria frekuensi sistem seperti yang ditampilkan pada tabel berikut [23].

Batas Bawah	Batas Atas	Keterangan
50,50 Hz	52,00 Hz	Diizinkan hanya untuk kondisi darurat dan dalam waktu yang sangat singkat
50,20 Hz	50,50 Hz	Diizinkan hanya untuk kondisi transien dan dalam waktu yang singkat
49,80 Hz	50,20 Hz	Kondisi normal dan dapat beroperasi secara kontinu
49,50 Hz	49,80 Hz	Diizinkan hanya untuk kondisi transien dan dalam waktu yang singkat
47,00 Hz	49,50 Hz	Diizinkan hanya untuk kondisi darurat dan dalam waktu yang sangat singkat

Tabel 3. 2 Kriteria Frekuensi sistem batas bawah dan atas

b. Kriteria Pembebanan Transformer

Berdasarkan dokumen RUPTL 2021-2032, kriteria pembebanan transformer dalam sistem dapat diamati pada tabel berikut. [18]

Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)	Penjelasan
0	70	Beroperasi secara terus menerus
70	90	Indikasi penambahan kapasitas transformer dengan uprating atau penambahan unit transformer

Tabel 3. 3 Kriteria Pembebanan Transformer

c. Kriteria Pembebanan Transmisi

Berdasarkan dokumen RUPTL 2021-2032, pembebanan transmisi harus mempertimbangkan kriteria kontingensi N-1 yaitu apabila ada salah satu sirkit mengalami gangguan atau sedang dalam pemeliharaan maka sirkit lainnya harus dapat memikul beban tersebut. Kriteria pembebanan transmisi dapat diamati pada tabel berikut [18].

Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)	Penjelasan
0	50	Beroperasi secara terus menerus
50	100	Indikasi tidak memenuhi kriteria kontingensi N-1

Tabel 3. 4 Kriteria Pembebanan Transmisi

Sementara untuk kriteria pembebanan jaringan distirbusi yang biasa diterapkan (common practice) di lingkungan PLN biasanya dibatasi maksimal 80% dari kemampuan hantar arus dari konduktor tersebut.

3.4.1.2 Analisis Stabilitas Transient

Analisis stabilitas transien akan mengevaluasi stabilitas transien sistem pada saat *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan diinterkoneksi dengan sistem interkoneksi Sumatera. Tujuan dari analisis stabilitas transien adalah untuk mengamati frekuensi, tegangan dan sudut rotor yang terkena gangguan pada sistem dan juga untuk memastikan bahwa sistem dapat menahan gangguan dan pulih ke keadaan stabil.

Skenario studi untuk analisa kestabilan transien adalah sebagai berikut:

- Trip-nya 1 Blok *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan sebesar 75 MW
- Terjadinya gangguan pada 1 sirkit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono

Pada skenario pertama, akan disimulasikan dengan urutan kejadian yang dialami sistem yaitu:

- $t = 1 \text{ s}$: Gangguan di pembangkit
- $t = 1,12 \text{ s}$: Trip *circuit breaker*

- $t = 12 \text{ s}$: Durasi simulasi

Pada skenario kedua, akan disimulasikan dengan urutan kejadian yang dialami sistem yaitu:

- $t = 1 \text{ s}$: Gangguan pada 1 sirkit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono
- $t = 1,12 \text{ s}$: Trip circuit breaker
- $t = 12 \text{ s}$: Durasi simulasi

Analisa kestabilan transien akan mengamati parameter frekuensi pada bus 150 kV *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan, dan untuk parameter tegangan di bus 150 kV akan diamati di GI New Tarahan dan sekitarnya. Sementara itu, sudut rotor diamati pada pembangkit di sistem Lampung. [24]

3.4.3. Analisis Kelayakan Ekonomi Penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan Lampung

Dalam melakukan penelitian penulis memberikan Estimasi biaya untuk hitungan analisis yang terdiri dari biaya EPC PLTGU dengan menggunakan Konfigurasi 2-2-1 (2 *Gas Turbine*, 2 HRSG, 1 *Steam Turbine*). Dimana 1 dan 2 blok termasuk biaya dengan rincian sebagai berikut: [25].

No	Equipment	Harga Satuan (USD)
		2 Blok (2-2-1) 75 MW
1	<i>Gas Turbine</i>	79.618.007,93
2	<i>Steam Turbine</i>	1.231.390,09
3	<i>Cooling Tower</i>	2.051.443,00
4	<i>HRSG and Aux</i>	42.100.360,56
5	<i>BOP Mechanical</i>	25.045.116,74
6	<i>BOP Electrical</i>	3.249.887,79
7	<i>Instrument and Control</i>	6.358.328,28
8	<i>Civil Work</i>	28.366.578,54

Tabel 3. 5 Referensi Harga Proyek

Dalam menghitung nilai arus kas peneliti juga menggunakan referensi:

1. BPP Regional Subsistem Lampung sesuai dengan Kepmen ESDM No. 169.K/HK.02/MEM.M/2021 sebesar 6,83 cUSD/kWh.
2. Asumsi kurs 1 USD = Rp 16.000.
3. Menggunakan Rumus yang di tulis oleh Aswath Damodaran (Professor Keuangan NYU *Stern School Of Business* yaitu :

$$\text{Arus Kas Bersih} = (\text{Revenue} - \text{OPEX}) \times (1 - \text{Tax}) \dots \dots \dots (3.1) \text{ [26]}$$

4. Menggunakan nilai *Weighted Average Cost Of Capital*) sebesar 5,50 %,

Kemudian teknik pengolahan datanya berisi tentang perhitungan dan pengujian diantaranya yaitu:

- *Net Present Value (NPV)*
- *Profitabilty Index (PI)*
- *Internal Rate Of Return (IRR)*
- *Payback Period (PP)*

Metode tersebut digunakan untuk menganalisis identifikasi manfaat dari bisnis listrik dan pengembalian yang akan perusahaan dapatkan dari penerapan *Combined Cycle* di MPP Tarahan Lampung tersebut

3.4.2.1 *Net Present Value (NPV)*

Metode net present value adalah suatu metode perhitungan yang selalu mengukur keuntungan suatu proyek investasi dimana ia mempertimbangkan nilai dari waktu uang.

Atau dalam hal lain berarti metode ini menggunakan suku bunga biaya modal yang diisyaratkan untuk membawa semua nilai dari arus kas masa depan atau masa yang akan datang ke nilai sekarang kemudian kita membandingkannya dengan banyaknya jumlah uanh yang kita keluarkan di awal. Rumus dari NPV (*Net Present Value*) adalah.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Rt}{(1+r)^t} - I_0 \dots\dots\dots(3.3) [12].$$

Dengan lebih rinci sebagai berikut: [13].

$$NPV = \frac{C_1}{(1+r)^1} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \dots \frac{C_n}{(1+r)^n} - C_0 \dots\dots\dots(3.4) [12].$$

Dimana;

- C_t : *Cash Flow* (Arus kas masuk bersih) yang di hasilkan pada periode waktu t (atau biasa di sebut tahun 1,2,3 dst.
- NPV adalah *Net Present Value* atau nilai bersih yang dihasilkan dari perhitungan
- C_0 : *Initial Cost* Atau istilah lain merupakan investasi awal yang merupakan jumlah uang yang di dikeluarkan pada waktu 0 , atau biaya modal awal)
- r : adalah discount rate atau biasa di sebut tingkat diskonto, atau biaya modal dari suatu perusahaan
- t : suatu periode waktu dari tahun ke-1 , ke-2,dst.
- n : dapat diartikan sebagai umur ekonomis atau periode total dari suatu investasi.

(Menggunakan referensi dari Fisher,I.1930, *The teory of interest*, new York : Macmillan) investasi dan membandingkan dengan Tingkat pengembalian yang di harapkan.

(Menggunakan referensi dari Dean,J.(1951).*Capital Budgeting, Cloumbia University Press*)

3.4.2.2. Profitabilty Index (PI)

Untuk metode ini adalah suatu metode untuk mengetahui hasil pemeriksaan ulang dari suatu investasi yang digunakan untuk mengukur dari daya tarik relatif dari berbagai proyek investasi, metode ini juga digunakan untuk mengukur suatu nilai sekarang dari suatu arus kas masuk dimana di harapkan untuk nilai dari setiap rupiah dalam keadaan sekarang dari suatu arus kas keluar (investasi awal)

Untuk rumus dari *Profitabilty index* (PI).

$$P1 = \frac{\text{Nilai Sekarang Arus Kas Masuk Masa Depan}}{\text{Nilai Sekarang Arus Kas Keluat (Investasi Awal)}} \dots\dots\dots(3.5) [14]$$

Atau jika berkaitan dengan NPV :

$$P1 = \frac{NPV + \text{Investasi Awal}}{\text{Investasi Awal}} \dots\dots\dots(3.6) [15]$$

(Menggunakan referensi dari Dean.J.(1951). *Capital Budgeting. Columbia University Press*)

3.4.2.3. Internal Rate Of Return (IRR)

Metode ini Adalah metode evaluasi investasi yang digunakan untuk menadapatkan nilai Tingkat bunga internal atau Tingkat pengembalian yang di harapkan dari suatu investasi , atau dalam kalimat sederhana dapat dikatakan sebagai suku bunga dari suatu proyek investasi itu sendiri, ini Adalah Tingkat keuntungan aktual per tahun yang akan di peroleh dari suatu proyek tersebut. Rumus dari IRR yaitu;

Menurut Husnan dan suwarnono, dapat di hitung melalui rumus:

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Rt}{(1+r)^t} - I_0 \dots\dots\dots(3.7) [14].$$

Dimana :

Nilai IRR adalah tingkat diskonto yang merupakan NPV = 0 . Sehingga IRR yang digunakan untuk mengukur efisiensi investasi dan membandingkan dengan Tingkat pengembalian yang di harapkan.

(Menggunakan referensi dari Dean,J.(1951).*Capital Budgeting, Cloumbia University Press*)

3.4.2.4. Payback Period (PP)

Payback period adalah suatu *management* keuangan yang berpacu pada suatu jangka waktu yang dapat menutup jumlah arus kas yang di peroleh dari suatu investasi, adapun metode ini mudah di hitung dan juga mudah di pahami, Dimana metode ini merupakan metode dasar untuk mengetahui nilai dari jangka waktu yang dibutuhkan agar dapat saling backup ,atau berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal awal yang telah di berikan kepada suatu investasi, Adapun rumus *payback period* Adalah

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{investasi awal}}{\text{Arus kas masuk bersih tahunan}} \dots\dots\dots(3.2) [16].$$

(Menggunakan referensi dari: Damodaran, A. (2007, July). *Return on capital (ROC), return on invested capital (ROIC) and return on equity (ROE): Measurement and implications*. Stern School of Business, New York University)

3.5. Jadwal Penelitian

Berikut jadwal penelitian untuk pelaksanaan proyek tesis :

NO	ACTIVITIES	2025											
		MARET		APRIL				MEI				JUNI	
		W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2
A. PERSIAPAN PENELITIAN													
1	Melakukan Riset lokasi pembangkit dan kemungkinan perkembangan bisnis												
2	Penyampaian rencana proyek dan menawarkan rencana analisis penerapan CCPP ke PT PLN Batam												
3	Mendapatkan Izin melakukan kajian analisis												
4	Site Survey Ke PLTG MPP Tarahan Lampung												
B. ANALISIS DAN SIMULASI													
1	Analisis Rencana <i>Study</i> Penerapan <i>Combined Cycle</i> PLTG MPP Tarahan												
2	Analisis Kelayakan Tecno												
	Analisis dan simulasi Aliran Daya												
	Analisis dan simulasi <i>Stabilitas Transient</i>												
3	Analisis Kelayakan Ekonomi												
4	Final Penelitian dan persiapan penulisan laporan tesis												

Tabel 3. 6 Jadwal Penelitian

Dalam melakukan penelitian dan proses analisis terkait penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan penulis melakukan penelitian kurang lebih selama 4 bulan dan melakukan *site survey* untuk mengumpulkan data data yang diperlukan serta melihat Lokasi PLTG MPP Tarahan secara langsung agar bisa mempertimbangkan bagaimana rencana penerapannya,

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1. Study Penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan

4.1.1.1 Pemilihan Lokasi dan Lingkungan Pembangkit

Lokasi GT MPP Tarahan yang direncanakan untuk ditingkatkan menjadi *Combined Cycle* terletak di Desa Rangai Tri Tunggal, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Tarahan, Lampung. Lokasi ini sebelumnya untuk penempatan GT MPP TM 2500 sebanyak 4 unit dengan kapasitas 4 X 25 MW termasuk peralatan BOP dan infrastruktur yang diperlukan, yang sekarang tinggal 1 unit GT MPP sehubungan dengan 3 unit GT MPP telah direlokasi ke Punagaya. Luas area yang tersedia untuk rencana peningkatan *Combined Cycle* sekitar 2,64 HA dan masih tersedia lahan yang bisa dipergunakan untuk pengembangan *Combined Cycle* yang posisinya terletak di depan lokasi pembangkit dengan luas area sekitar 1 HA. Beberapa infrastruktur dan peralatan BOP masih terdapat di lokasi pembangkit seperti : Tanki HSD, *Work Shop*, *Ware House*, *Compressor*, WTP, WWTP, dll yang nantinya masih dapat dimanfaatkan untuk fasilitas dan infrastruktur *combined cycle*

Rencana evakuasi daya *output Combined cycle PLTG MPP Tarahan* tetap ke sistem kelistrikan Lampung melalui GI 150 kV Tarahan Baru, dimana akan memerlukan tambahan peralatan 150 kV untuk bus 150 kV yang saat ini kosong karena peralatan 150 kV termasuk yang direlokasi ke Punagaya

Combined cycle PLTG MPP Tarahan akan didesain menggunakan konfigurasi 2 blok 2-2-1, dengan setiap blok akan menghasilkan *output* sebesar 75 MW dan Efisiensi sebesar 51,44%, sehingga 2 blok akan menghasilkan *output* sebesar 150 MW. Saat ini di lokasi rencana Pembangunan *Combined cycle PLTG MPP Tarahan* masih terdapat 1 unit GT MPP dengan kapasitas 25 MW yang masih beroperasi sehingga untuk peningkatan menjadi *combined cycle* konfigurasi 2 blok 2-2-1, akan memerlukan tambahan peralatan utama 3 unit GT TM 2500, 4 unit HRSG dan 2 unit *Steam Turbine*.

Demin Plant, *Fire Fighting*, dll dan BOP elektrikal seperti *plant electrical*, *distributed control system*, dll yang diperlukan untuk operasional PLTGU baik pada saat *start-up*, normal operasi, *plant shut down* dalam kondisi normal maupun *emergency*. Peralatan BOP *eksisting* yang masih tersedia yang saat ini masih dimanfaatkan untuk operasi 1 unit GT MPP masih tetap akan dipergunakan sehingga BOP yang baru merupakan tambahan untuk peralatan utama yang baru.

Sebagai bahan bakar utama, PLTGU Tarahan akan menggunakan Gas. Sumber gas untuk GT MPP Tarahan yang sebelumnya terdiri dari 4-unit dan sekarang tinggal 1-unit disuplai dari jaringan pipa distribusi gas milik PT. Pertamina Gas, dimana pipa dari pipa utama milik PT Pertamina Gas ke *Plant Gate* dilengkapi oleh pihak ke-3.

Berdasarkan data yang diterbitkan oleh PT. Pertamina Gas Negara, *Offtake Station Sales Gas Metering Daily Report*, kuantiti gas yang disuplai untuk 1 unit GT MPP per 19 Maret 2025 sebesar 8,8 BBTUD, sehingga dapat diasumsikan sumber gas saat ini mencukupi untuk mensuplai 4 unit GT MPP.

Berdasarkan kuantiti gas pipa saat ini yang sebelumnya mencukupi untuk mensuplai 4 unit GT MPP, maka diperkirakan sumber gas nantinya akan mencukupi untuk mensuplai tambahan 3 unit GT MPP yang merupakan bagian dari PLTGU Tarahan. Walaupun demikian tambahan untuk suplai 3 unit GT MPP perlu dikoordinasikan kembali dengan PT. Pertamina Gas Negara, sehubungan saat ini suplai Gas hanya diatur untuk 1 unit GT MPP.

Pengembangan Pembangunan *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan akan berada di kompleks PLTG MPP Tarahan yang berada di Desa Rangai Tri Tunggal, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung. Komplek PLTG MPP Tarahan memiliki kapasitas pembangkit 100 MW dengan 4 unit mesin tipe GE TM 2500 dengan masing-masing kapasitas mesin 25 MW.

Kondisi sekarang hanya tersedia 1 unit mesin GE TM 2500 dengan kapasitas 25 MW, setelah 3 unit mesin lainnya dilakukan relokasi.

Lokasi MPP Tarahan juga berada di pada koordinat 5°31'6.65"S 105°20'45.48"E. Secara Administrasi berada di Desa Rangai Tri Tunggal, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung.

PLTG MPP Tarahan saat ini memanfaatkan lahan dengan luas $\pm 2,64$ Ha, dan luas area kosong yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan $\pm 1,1$ Ha.

MPP Tarahan Lampung juga merupakan unit penting dalam kelistrikan sumatera, dan juga merupakan relokasi ke wilayah lain seperti makassar. Berikut gambar lokasi MPP Tarahan Lampung dari ketinggian beberapa KM dari atas laut.



Gambar 4 1 Lokasi MPP Tarahan Lampung

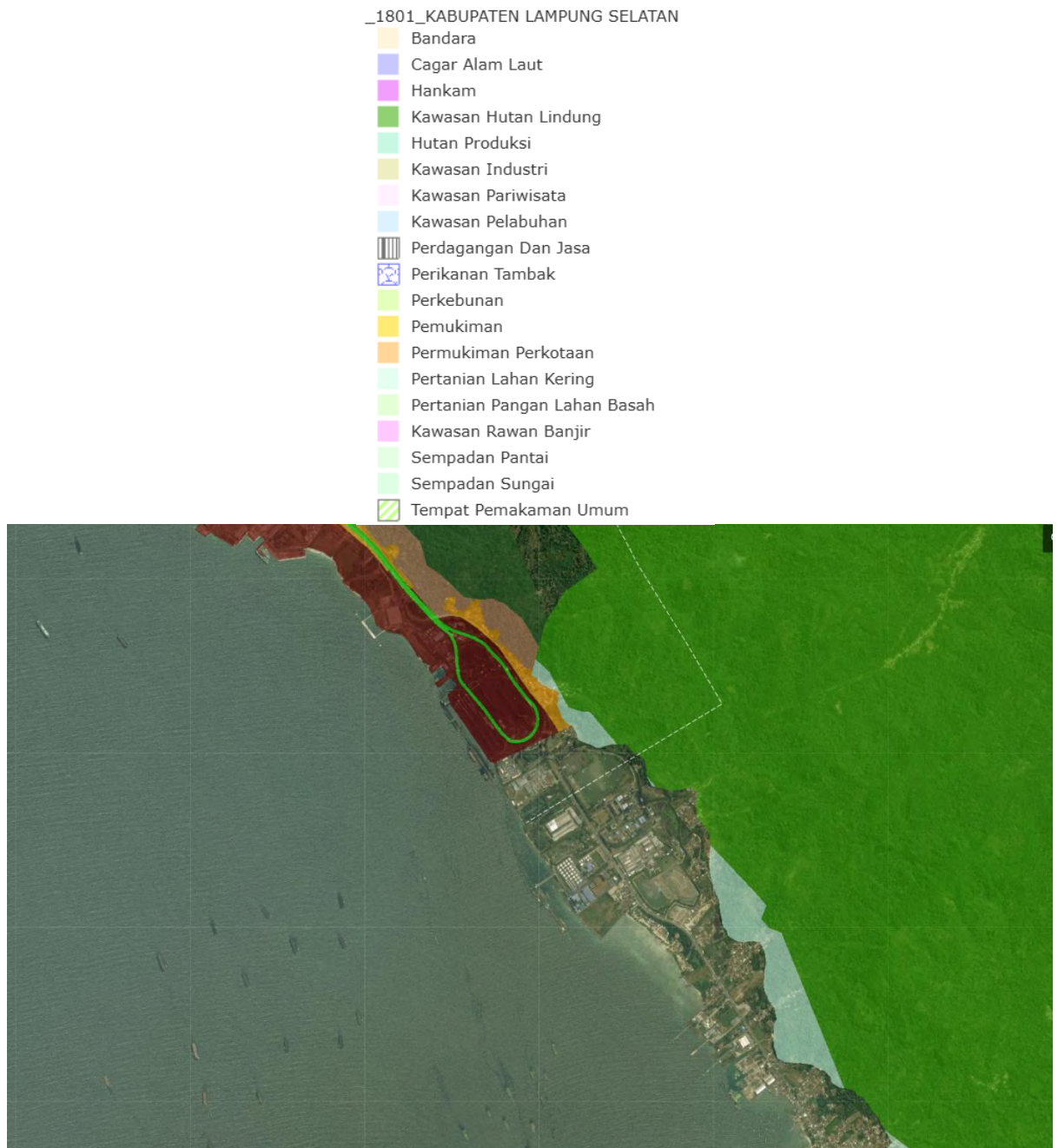


Gambar 4 2 Lahan Lokasi MPP Tarahan Lampung

Lahan PLTG MPP Tarahan dan *available* area saat ini dimiliki oleh PT PLN (Persero). Berdasarkan Peta Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Lampung Selatan yang diambil dari web <https://gistaru.atrbpn.go.id/rtronline/> pada lokasi PLTG MPP Tarahan tidak memiliki

peruntukan lahan.

Berdasarkan faktor kesesuaian mengenai tata ruang yang mengharuskan pembangkit listrik berada di Kawasan industri atau Kawasan Pembangkitan Listrik, maka perlu dilakukan perubahan kesesuaian RTRW ke Pemerintah Daerah (Pemda) menjadi Kawasan industri atau Kawasan Pembangkitan Listrik untuk lokasi pembangkit ini. [27].



Gambar 4 3 Lokasi MPP Tarahan Pada Peta RT RW KAB.Lampung

Lokasi lahan eksisting merupakan kompleks PLTG MPP Tarahan yang merupakan area pembangkitan dengan desain 4 unit mesin GE TM 2500. Area bagian depan dari PLTG MPP Tarahan berupa area terbuka yang kondisi saat ini ditumbuhi semak belukar dan area tidak dimanfaatkan. Terdapat *conveyor* batubara dari *coal storage* PT Bukit Asam menuju PLTU Tarahan.

Penggunaan lahan PLTG MPP Tarahan dan *available area* pada lokasi memiliki batasan-batasan lahan area sebagai berikut:

- Utara : Lahan PLN (*Coveyor* Batubara)
- Timur : PT. Indra Brothers
- Selatan: Laut
- Barat : PT. Bukit Asam

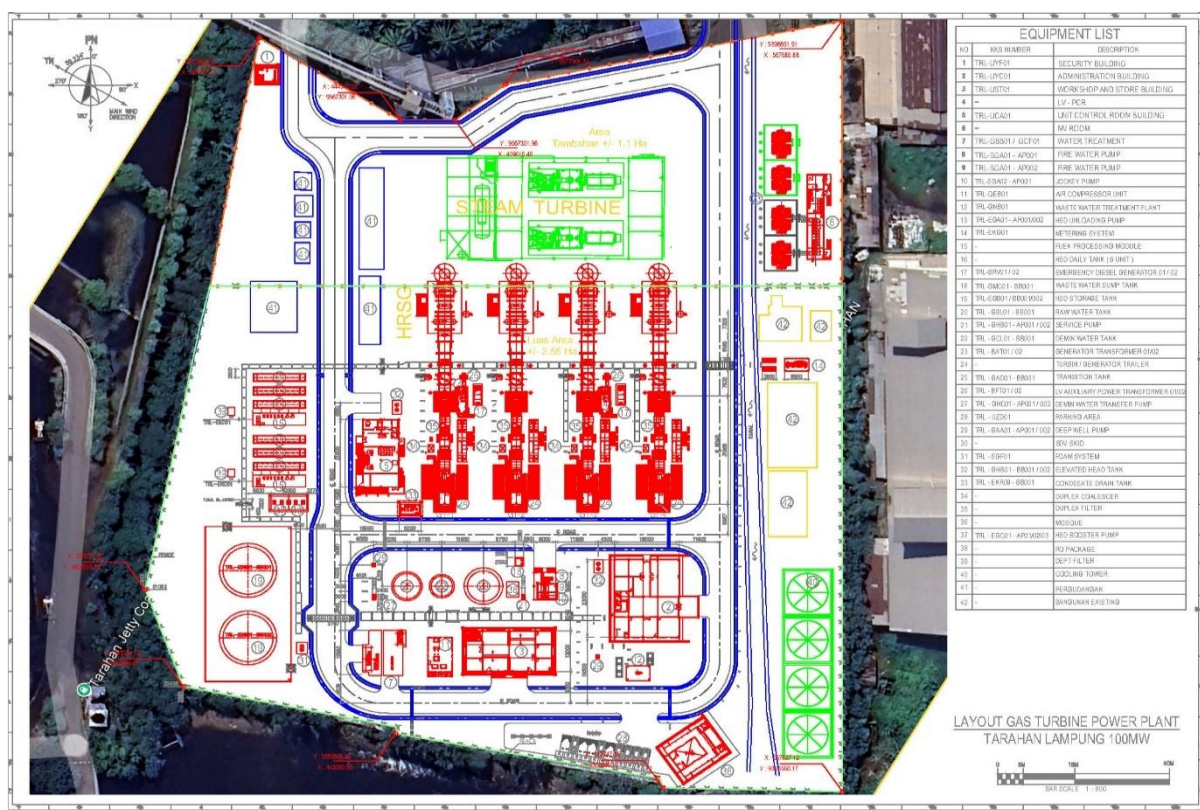
Berikut gambar daerah sekitar MPP Tarahan Lampung bagian utara,timur, Selatan, dan Barat dengan kondisi area sekitar . [28]



Gambar 4 4 Kondisi Area Sekitar Tarahan

4.1.1.2 Design Pembangkit *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan

Lokasi GT MPP Tarahan yang direncanakan untuk ditingkatkan menjadi *Combined Cycle* terletak di Desa Rangai Tri Tunggal, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Tarahan, Lampung. Lokasi ini sebelumnya untuk penempatan GT MPP TM 2500 sebanyak 4 unit dengan kapasitas 4 X 25 MW termasuk peralatan BOP dan infrastruktur yang diperlukan, yang sekarang tinggal 1 unit GT MPP sehubungan dengan 3 unit GT MPP telah direlokasi ke Punagaya. Luas area yang tersedia untuk rencana peningkatan *Combined Cycle* sekitar 2,64 HA dan masih tersedia lahan yang bisa dipergunakan untuk pengembangan *Combined Cycle* yang posisinya terletak di depan lokasi pembangkit dengan luas area sekitar 1 HA. Beberapa infrastruktur dan peralatan BOP masih terdapat di lokasi pembangkit seperti : Tanki HSD, *Work Shop*, *Ware House*, *Compressor*, WTP, WWTP, dll yang nantinya masih dapat dimanfaatkan untuk fasilitas dan infrastruktur *combined cycle*. [29].



Gambar 4 5 Rencana Design Layout *Cembined cycle* PLTG MPP Tarahan

Rencana evakuasi daya *output Combined cycle PLTG MPP Tarahan* tetap ke sistem kelistrikan Lampung melalui GI 150 kV Tarahan Baru, dimana akan memerlukan tambahan peralatan 150 kV untuk bay 150 kV yang saat ini kosong karena peralatan 150 kV termasuk yang direlokasi ke Punagaya

Combined cycle PLTG MPP Tarahan akan didesain menggunakan konfigurasi 2 blok 2-2-1, dengan setiap blok akan menghasilkan *output* sebesar 75 MW dan Efisiensi sebesar 51,44%, sehingga 2 blok akan menghasilkan *output* sebesar 150 MW. Saat ini di lokasi rencana Pembangunan *Combined cycle PLTG MPP Tarahan* masih terdapat 1 unit GT MPP dengan kapasitas 25 MW yang masih beroperasi sehingga untuk peningkatan menjadi *combined cycle* konfigurasi 2 blok 2-2-1, akan memerlukan tambahan peralatan utama 3 unit GT TM 2500, 4 unit HRSG dan 2 unit *Steam Turbine*.

Demin Plant, Fire Fighting, dll dan BOP elektrikal seperti *plant electrical, distributed control system*, dll yang diperlukan untuk operasional PLTGU baik pada saat *start-up*, normal operasi, *plant shut down* dalam kondisi normal maupun *emergency*. Peralatan BOP eksisting yang masih tersedia yang saat ini masih dimanfaatkan untuk operasi 1 unit GT MPP masih tetap akan dipergunakan sehingga BOP yang baru merupakan tambahan untuk peralatan utama yang baru.

Sebagai bahan bakar utama, PLTGU Tarahan akan menggunakan Gas. Sumber gas untuk GT MPP Tarahan yang sebelumnya terdiri dari 4-unit dan sekarang tinggal 1-unit disuplai dari jaringan pipa distribusi gas milik PT. Pertamina Gas, dimana pipa dari pipa utama milik PT Pertamina Gas ke Plant Gate dilengkapi oleh pihak ke-3.

Berdasarkan data yang diterbitkan oleh PT. Pertamina Gas Negara, Offtake Station Sales Gas Metering Daily Report, kuantiti gas yang disuplai untuk 1 unit GT MPP per 19 Maret 2025 sebesar 8,8 BBTUD, sehingga dapat diasumsikan sumber gas saat ini mencukupi untuk mensuplai 4 unit GT MPP.

Berdasarkan kuantiti gas pipa saat ini yang sebelumnya mencukupi untuk mensuplai 4 unit GT MPP, maka diperkirakan sumber gas nantinya akan mencukupi untuk mensuplai tambahan 3 unit GT MPP yang merupakan bagian dari PLTGU Tarahan. Walaupun demikian tambahan untuk suplai 3 unit GT MPP perlu dikoordinasikan kembali dengan PT. Pertamina Gas Negara, sehubungan saat ini suplai Gas hanya diatur untuk 1 unit GT MPP.

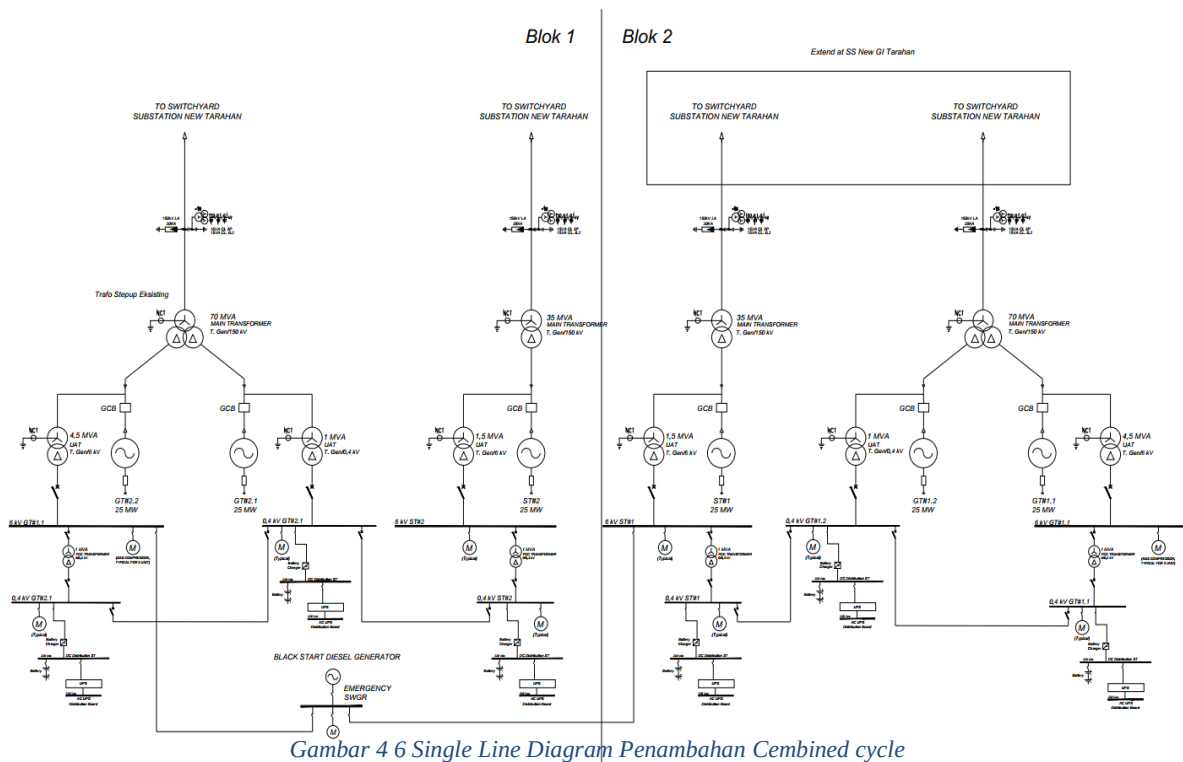
Pengembangan Pembangunan *Combined cycle PLTG MPP Tarahan* akan berada di komplek PLTG MPP Tarahan yang berada di Desa Rangai Tri Tunggal, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung. Komplek PLTG MPP Tarahan memiliki kapasitas pembangkit 100 MW dengan 4 unit mesin tipe GE TM 2500 dengan masing-masing kapasitas mesin 25 MW.

Kondisi sekarang hanya tersedia 1 unit mesin GE TM 2500 dengan kapasitas 25 MW, setelah 3 unit mesin lainnya dilakukan relokasi.

4.1.2. Analisis Kelayakan Teknis Penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan

4.1.1.1 Analisa Aliran Daya

Dalam mengetahui hasil dari analisa aliran daya dan kelistrikan subsistem lampung sebelum dan sesudah dilakukannya penerapan *Combined Cycle* kita mengasumsikan menggunakan sebuah konfigurasi 2 Blok 2-2-1, yang artinya kita menggunakan integrasi GT MPP yang masih ada yakni GT MPP 1 Unit TM2500 dengan tambahan 1 unit GT TM2500 baru, 2 unit HRSG baru, dan 1 unit Steam Turbin baru. Dalam perencanaan penerapan ini direncanakan untuk unit lama dari GT MPP tarahan tetap digunakan. Single Line diagram yang digunakan dalam penggambaran SUB Sistem Lampung sebagai berikut:



Gambar 4.6 Single Line Diagram Penambahan *Combined cycle*

Untuk metode main transformers yang digunakan yaitu pada konfigurasi 2-2-1 untuk *STEP-UP* sebagai berikut:

Konfigurasi	Blok	Generator	Kapasitas (MW)	Keterangan
2-2-1	Blok 1	GT#1.1	25	Eksisting
		GT#1.2	25	
		ST#1	25	
2-2-1	Blok 2	GT#2.1	50	Baru
		GT#2.2		
		ST#2	25	

Tabel 4.1 Tabel Prakiraan Konfigurasi penerapan *Combined cycle*

Spesifikasi general sebagai berikut

- Type : *Oil Immersed, Outdoor*
- Sistem pendingin : *ONAN/ONAF*
- *Tap Changer* : *Off Load*
- *Winding Connection* : *Delta-Wye*
- Frekuensi : 50 Hz
- Tegangan : T.Generator/150kV

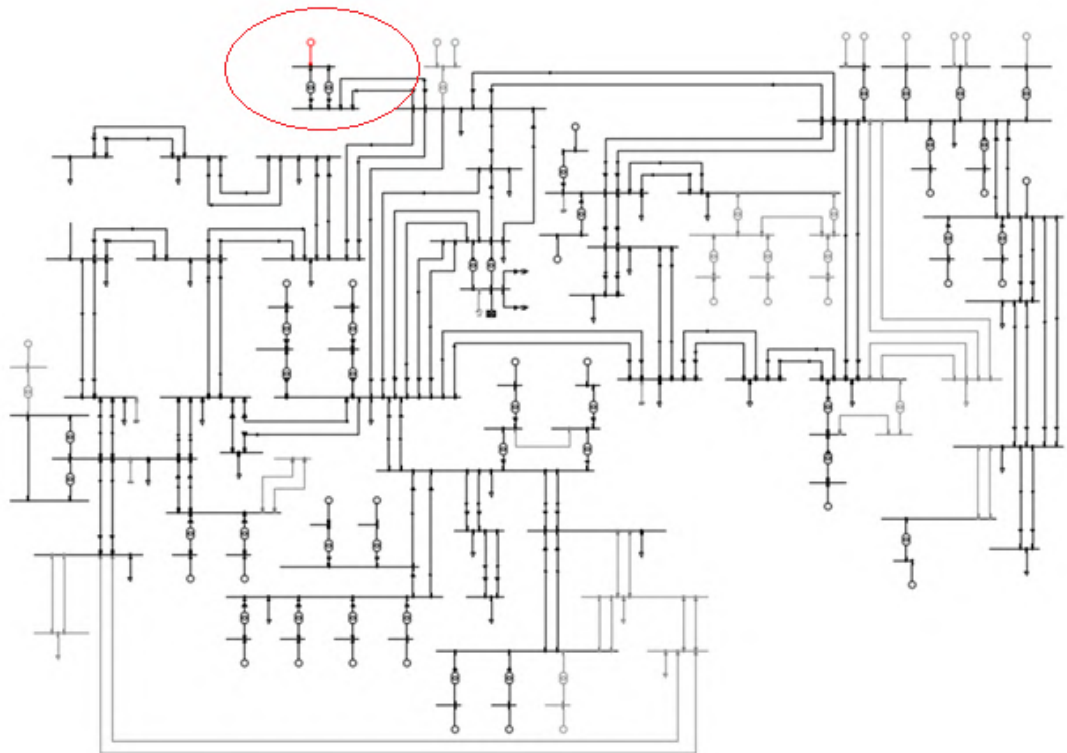
Semua data tersebut dimasukan dan diinput dalam simulasi DigSILENT, kemudian dilakukan dengan dua skenario penerapan untuk melihat hasil dari analisa aliran daya sistem kelistrikan SUB Sistem lampung.

Skenario yang akan dilakukan dalam analisa aliran daya adalah sebagai berikut:

- a. Sebelum *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan Beroperasi

Berikut aliran daya sebelum dilakukannya *combined cycle* :

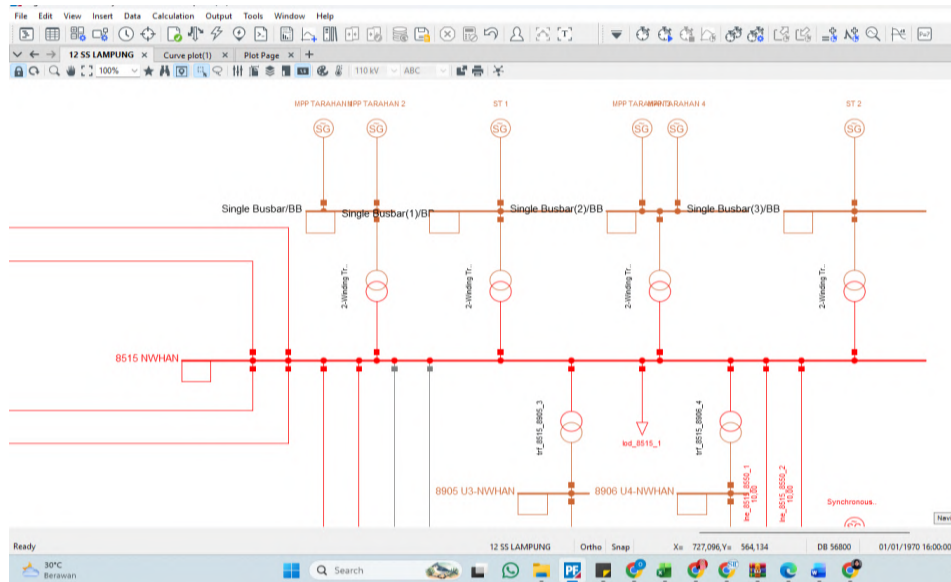
Dalam Single Line Diagram untuk keadaan sub sistem lampung sebelum melakukan penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan, dengan report tegangan jatuh di salah satu GI dalam subsistem lampung.



Gambar 4 7 SLD SUB Sistem Lampung dalam DigSILENT

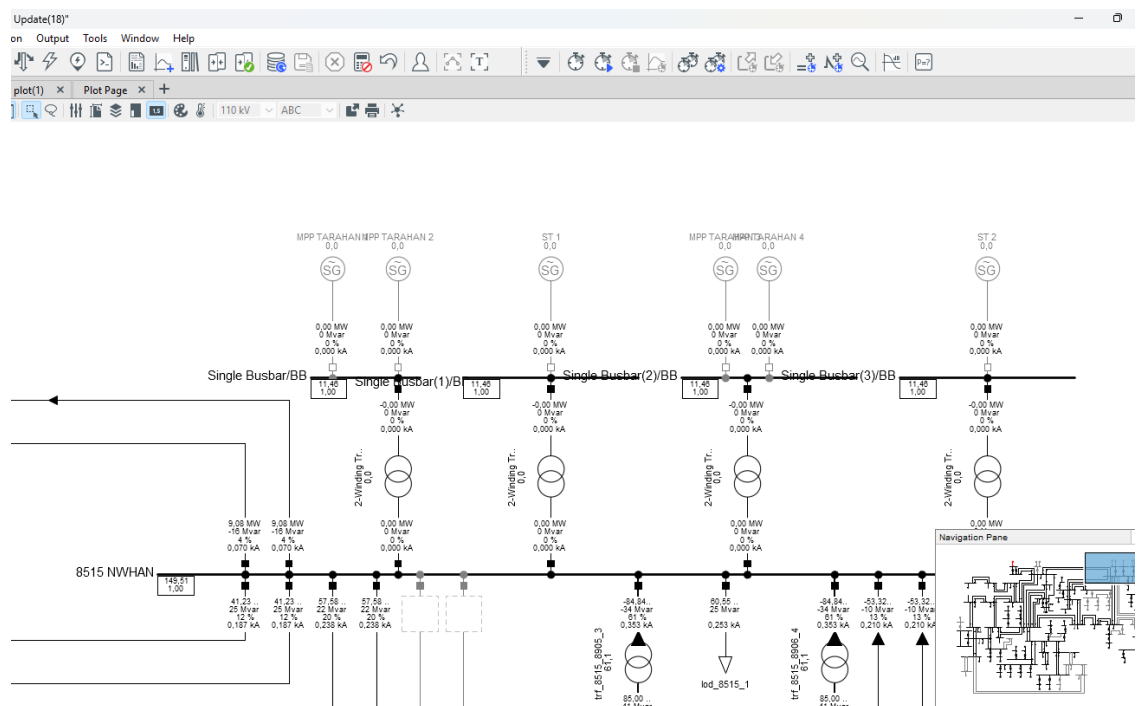
Dalam gambar diatas adalah output dalam perangkat lunak digisilend sebelum dilakukannya penerapan *combined cycle* dengan konfigurasi 2-2-1 , Dengan 2 buah GT MPP, 2 HRSG, dan 1 buah steam turbin.

Dengan gambar eksisting sebagai berikut:

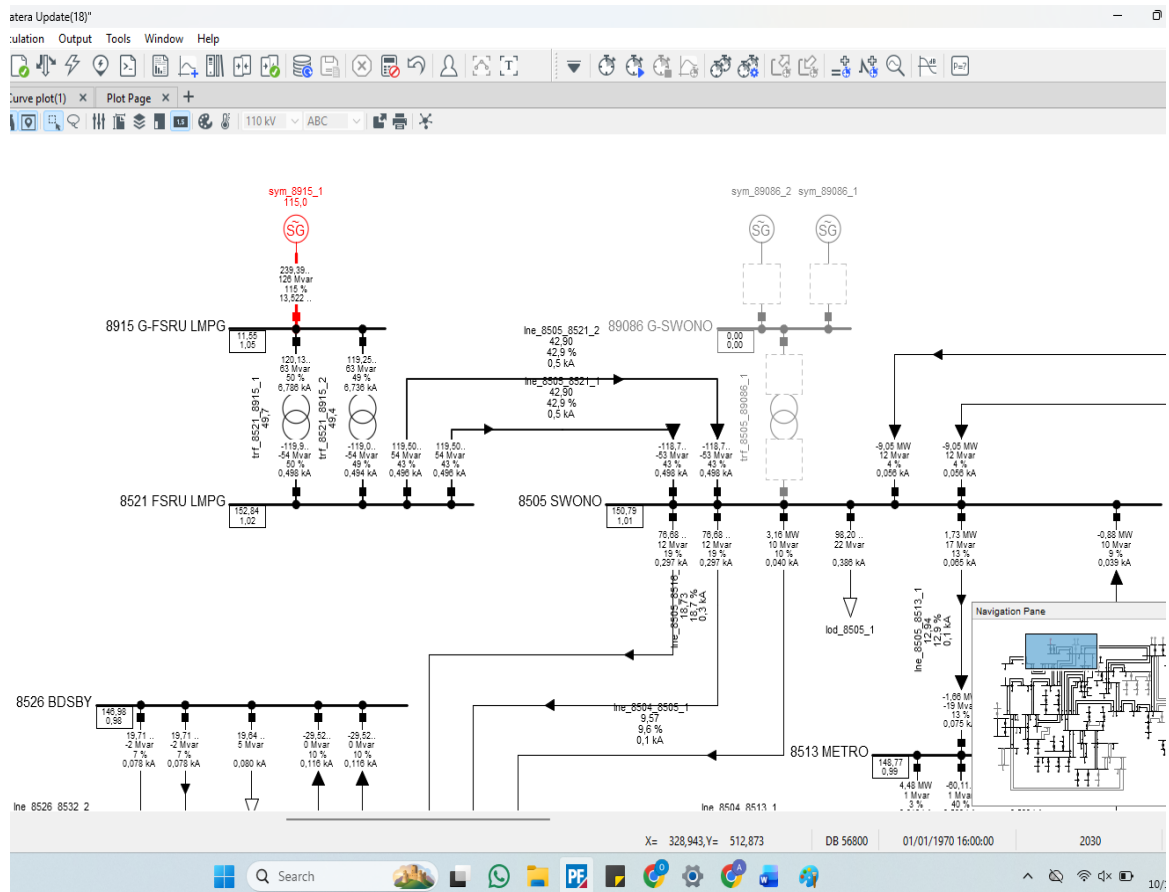


Gambar 4 8 Zoom in Gambar SLD Rencana Penerapan Combined Cycle

Gambar tersebut adalah gambar sld dan eksisting yang belum dilakukan running load flow, berikut gambar subsitem lampung setelah dilakukan running load flow untuk keadaan eksisting sebelum di lakukan penerapan *Combined Cycle*:



Kemudian selanjut nya adalah hasil running load flow untuk simulasi SUB Sistem Lampung sebelum penerapan *Combined Cycle*:



Gambar 4 10 Generator mengalami beban berlebih

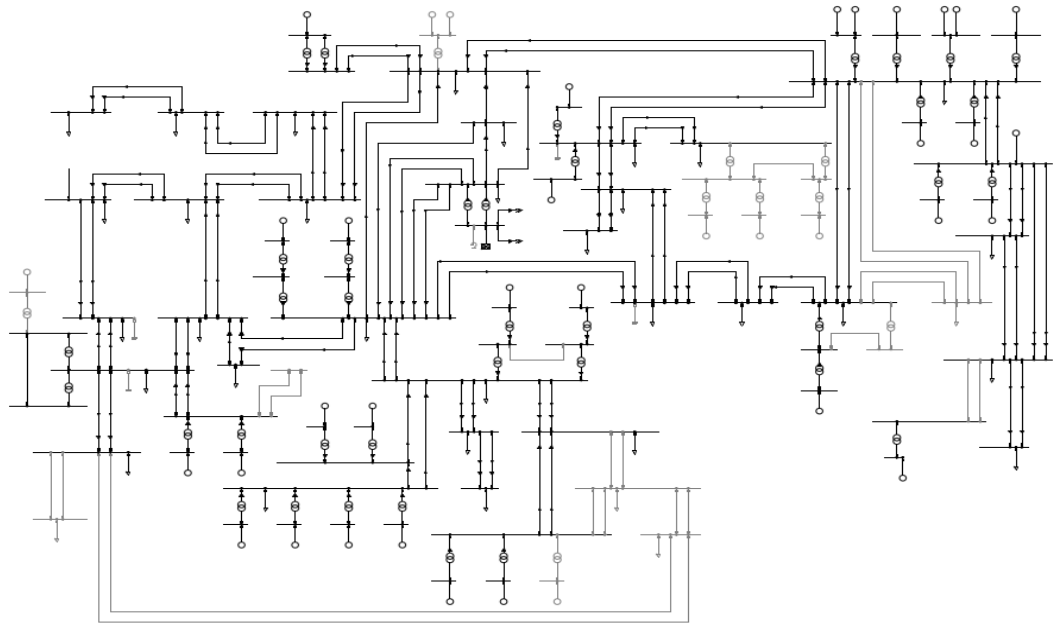
Dalam running load flow untuk mengetahui jatuh tegangan output yang keluar dalam perangkat lunak DigSilend adalah terdapat 1 generator yang terdapat kelebihan beban.

b. Setelah *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan Beroperasi

Setelah dilakukan penerapan *combined cycle* di berikan konfigurasi 2-2-1 dengan menggunakan integrasi GT MPP yang masih ada yakni GT MPP 1 Unit TM2500 dengan tambahan 1 unit GT TM2500 baru, 2 unit HRSG baru, dan 1 unit Steam Turbin baru. Dalam perencanaan penerapan ini direncanakan untuk unit lama dari GT MPP tarahan tetap digunakan.

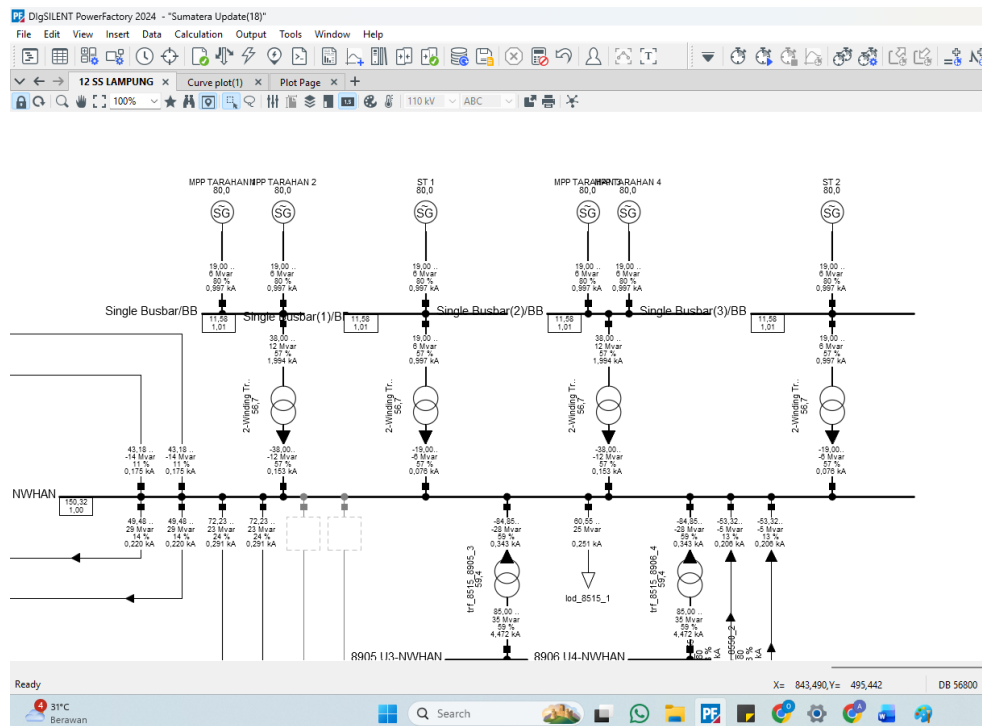
Dalam penerapan ini masing masing generator dalam posisi on

Berikut aliran daya setelah dilakukannya *combined cycle* :



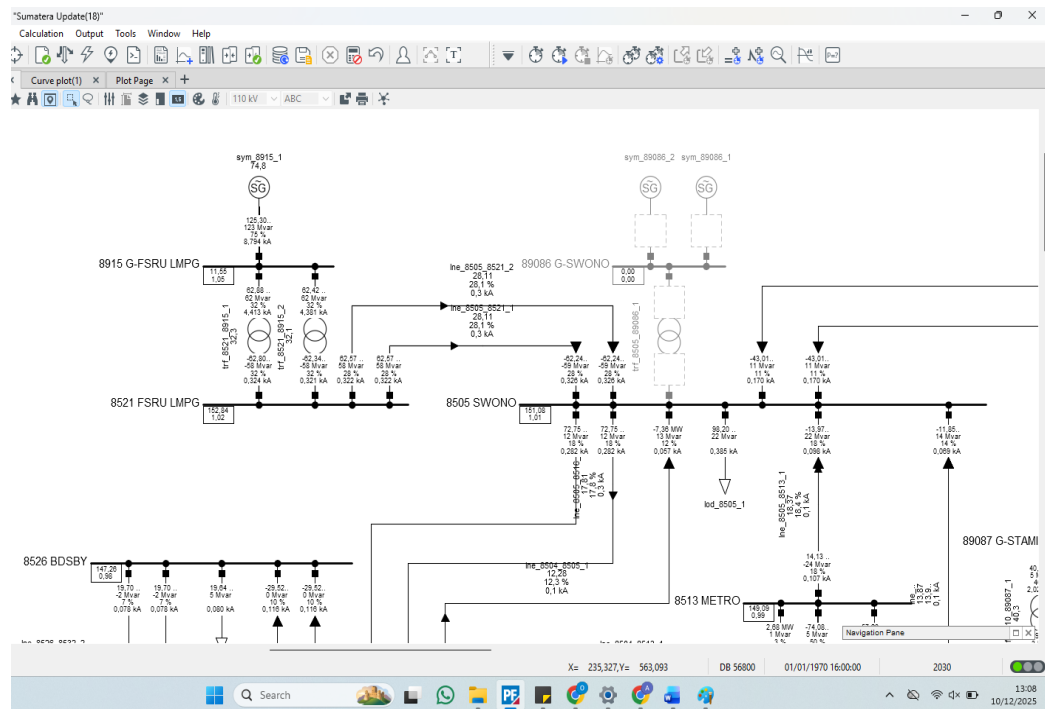
Gambar 4 11 SLD Setelah penerapan Combined Cycle

Dalam penerapan *combined cycle* tidak adanya generator yang kelebihan beban sesuai dengan hasil load flow diatas. Ditandai dengan tidak adanya warna merah dalam rangkaian sehingga hasilnya menyatakan normal setelah diterapkannya *combined cycle*.



Gambar 4 12 Aliran daya setelah penerapan Combined Cycle

Berikut gambar analisa *load flow* setelah dilakukannya penerapan *combined cycle*. Dalam rangkaian tersebut terdapat beberapa perbedaan nilai arus, daya yang terjadi.



Gambar 4.13 Analisa Aliran Daya pada generator yang beban berlebih

Kemudian untuk generator dalam rangkaian yang mendapatkan beban berlebih sudah kembali normal setelah di terapikannya *combined cycle*.

Berikut nilai arus hubung singkat sebelum dan sesudah dilakukan penerapan *combined cycle* untuk arus 1 fasa ke tanah dan 3 fasa

No	Gardu Induk	Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah		Hubung Singkat 3 Fasa		Breaking Capacity I (kA)
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
		I (kA)	I (kA)	I (kA)	I (kA)	
1	LAMPUNG 1	15,75	16,61	21,24	22,06	40
2	METRO	13,84	14,51	18,71	19,34	40
3	NEW TARAHAN	20,68	24,72	24,52	27,12	40
4	SEBALANG	23,23	25,32	23,73	25,39	40
5	SEPUTIH BANYAK	8,04	8,15	11,54	11,68	40
6	SRIBAWONO	11,92	12,53	16,65	17,23	40
7	SUTAMI	15,06	16,48	18,51	19,69	40

Tabel 4. 2 Nilai arus hubung singkat Sebelum dan sesudah CC

Combined cycle PLTG MPP Tarahan direncanakan akan terhubung GI 150 kV New Tarahan. Sebelumnya, Pembangkit MPP Tarahan sudah beroperasi dengan jenis pembangkit PLTG kapasitas 4 x 25 MW yang terhubung dengan GI 150 kV New Tarahan menggunakan 2 sirkit XLPE, lalu kapasitasnya berubah menjadi 1 x 25 MW menggunakan 1 sirkit XLPE. PLTG MPP Tarahan akan diubah menjadi *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan dengan menggunakan 4 *Gas Turbine*, 4 *Heat Recovery Steam Generator*, dan 2 *Steam Turbine* yang terhubung dengan GI 150 kV New Tarahan menggunakan 4 sirkit XLPE.

Hasil simulasi aliran daya disampaikan dalam dua skenario, yakni sebelum *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan beroperasi (Kasus-1) dan setelah *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan beroperasi (Kasus-2). Simulasi dilakukan menggunakan beban saat malam hari yang direncanakan beroperasi di tahun 2030 dapat diamati pada tabel dan gambar dibawah.

Berikut hasil simulasi hubung singkat terhadap tegangan sebelum dan sesudah dilakukannya penerapan *combined cycle* untuk nilai tegangan:

No	Gardu Induk	Kasus-1		Kasus-2		Keterangan
		(kV)	(pu)	(kV)	(pu)	
1	LAMPUNG 1	151,2	1,01	151,5	1,01	Memenuhi
2	METRO	151,1	1,01	151,5	1,01	Memenuhi
3	NEW TARAHAH	151,1	1,01	152	1,01	Memenuhi
4	SEBALANG	151,2	1,01	152	1,01	Memenuhi
5	SEPUTIH BANYAK	155,9	1,04	156,1	1,04	Memenuhi
6	SRIBAWONO	153,6	1,02	154	1,03	Memenuhi
7	SUTAMI	150	1,00	150,8	1,01	Memenuhi

Tabel 4. 3 Hasil simulasi Hubung Singkat Terhadap Tegangan

Berikut hasil simulasi aliran daya sebelum dan sesudah dilakukannya penerapan *combined cycle* untuk nilai pembebanan dan losses :

No	Jaringan Transmisi	Kasus-1		Kasus-2	
		Pembebanan (%)	Losses (%)	Pembebanan (%)	Losses (%)
1	LAMPUNG 1 - METRO	12,3	0,3	22,8	0,1
2	NEW TARAHAH – SEBALANG #1	12,9	0,9	12,9	0,9
3	NEW TARAHAH – SEBALANG #2	12,9	0,9	12,9	0,9
4	SRIBAWONO - LAMPUNG 1	11	4	11,5	4
5	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #1	6,8	4,5	8,6	6,9
6	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #2	6,8	4,5	8,6	6,9
7	SRIBAWONO – METRO	16,2	2,7	17,2	2,7

No	Jaringan Transmisi	Kasus-1		Kasus-2	
		Pembebanan (%)	Losses (%)	Pembebanan (%)	Losses (%)
8	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #1	5,7	6,8	8,8	4,5
9	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #2	5,7	6,8	8,8	4,5
10	SUTAMI - NEW TARAHAH #1	11,8	1,5	14,9	1,5
11	SUTAMI - NEW TARAHAH #2	11,8	1,5	14,9	1,5

Tabel 4. 4 Hasil simulasi hubung singkat terhadap pembebanan dan losses

Berikut hasil simulasi aliran daya sebelum dan sesudah dilakukannya penerapan *combined cycle* untuk penerapan kontingensi N-1 Di salah satu busbar:

No	Jaringan Transmisi	N-1 Kasus-1				N-1 Kasus-2			
		NEW TARAHAH - SEBALANG	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK	SRIBAWONO - NEW TARAHAH	SUTAMI - NEW TARAHAH	NEW TARAHAH - SEBALANG	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK	SRIBAWONO - NEW TARAHAH	SUTAMI - NEW TARAHAH
1	LAMPUNG 1 - METRO	25,6	24,7	26,3	25	22,8	20,6	25,8	22
2	NEW TARAHAH - SEBALANG #1	25,8	12,9	12,9	12,9	25,8	12,9	12,9	12,9
3	NEW TARAHAH - SEBALANG #2	-	12,9	12,9	12,9	-	12,9	12,9	12,9
4	SRIBAWONO - LAMPUNG 1	11	10,6	12,1	11,4	11,6	11,9	11,9	12,2
5	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #1	5,7	7,7	5,4	5,7	8,6	12,3	8,2	8,7
6	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #2	5,7	-	5,4	5,7	8,6	-	8,2	8,7
7	SRIBAWONO - METRO	16,2	15,8	17,7	16,9	17,2	17,9	17,3	18,1
8	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #1	6,9	6,3	8,6	6,7	8,8	8	11,9	9,1
9	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #2	6,9	6,3	-	6,7	8,8	8	-	9,1
10	SUTAMI - NEW TARAHAH #1	11,8	11,9	11,7	19,1	14,9	15,1	15,3	24,2
11	SUTAMI - NEW TARAHAH #2	11,8	11,9	11,7	-	14,9	15,1	15,3	-

Tabel 4. 5 Hasil simulasi aliran daya berdasarkan kontingensi N-1

4.1.1.2. Analisa Stabilitas Transient

Analisis *stabilitas transien* akan mengevaluasi stabilitas transien sistem pada saat *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan diinterkoneksi dengan sistem interkoneksi Sumatera. Tujuan dari analisis stabilitas transien adalah untuk mengamati frekuensi, tegangan dan sudut rotor yang terkena gangguan pada sistem dan juga untuk memastikan bahwa sistem dapat menahan gangguan dan pulih ke keadaan stabil.

Skenario studi untuk analisa kestabilan transien adalah sebagai berikut:

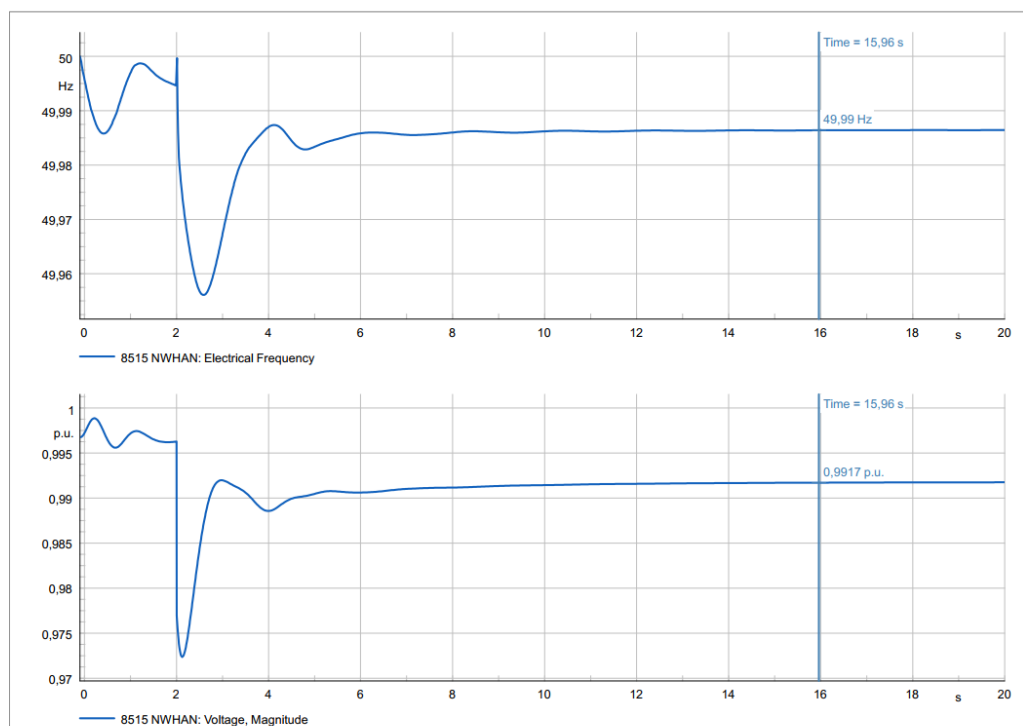
- Trip-nya 1 Blok *Cembin* cycle PLTG MPP Tarahan sebesar 75 MW
- Terjadinya gangguan pada 1 sirkit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono

Berikut hasil simulasi *Transient Stability*:

- Skenario 1 : trip 1 Blok *Cembin* cycle PLTG MPP Tarahan sebesar 75 MW

Pada skenario ini, disimulasikan tripnya 1 blok pembangkit sebesar 75 MW. Hasil simulasi

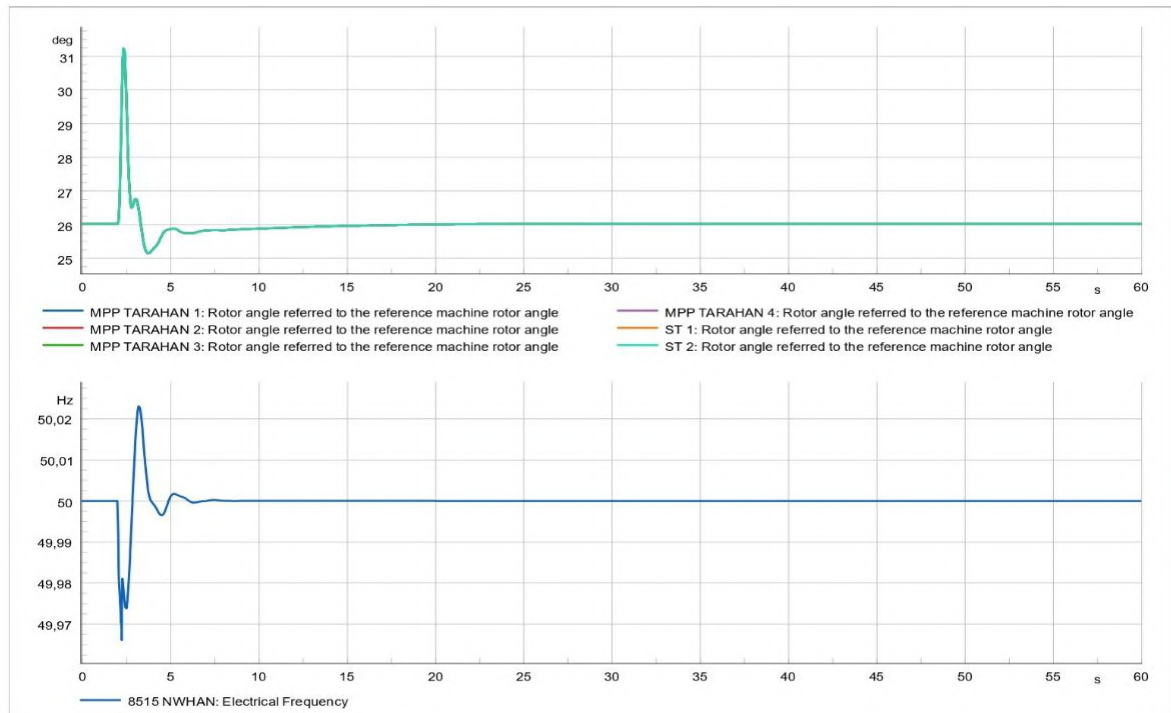
skenario 1 beroperasi saat waktu beban puncak (WBP) dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4 14 Hasil Simulasi Transient Trip 1 Blok Pembangkit sebesar 75 MW

b. Skenario 2: Terjadinya fault pada 1 sirkuit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono

Pada skenario ini, disimulasikan terjadinya *fault* pada 1 sirkuit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono. Hasil simulasi skenario 2 beroperasi saat waktu beban puncak (WBP) dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4 15 Hasil Simulasi Transient fault pada salah satu sirkuit 150 KV GI new Tarahan - GI Swibawono

4.1.3. Analisis Kelayakan ekonomi penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan

Sebelum melakukan perhitungan *Payback Period (PP)* , *Net Present Value (NPV)* , *Profitability index (PI)* , dan internal Rate of return (IRR) , berikut merupakan perhitungan cost estimate dalam penerapan *combined cycle*, untuk penerapan menggunakan 2-2-1 yaitu: 2 Gas Turbine, 2 HRSG, dan 1 Steam Turbine, *Combined cycle PLTG MPP Tarahan* akan didesain menggunakan konfigurasi 2 blok 2-2-1, dengan setiap blok akan menghasilkan *output* sebesar 75 MW sehingga 2 blok akan menghasilkan *output* sebesar 150 MW.

Berikut perkiraan biaya investasi untuk penerapan *Combined Cycle* PTLG MPP Tarahan dengan estimasi biaya pengeluaran;

No.	Equipment	Value (USD)
		2 Block
1	<i>Gas Turbine</i>	59.944.235,00
2	<i>Steam Turbine</i>	1.000.199,00
3	<i>Cooling Tower</i>	2.051.443,00
4	<i>HRSG and Aux</i>	26.612.382,00
5	<i>BOP Mechanical</i>	25.045.116,74
6	<i>BOP Electrical</i>	3.249.887,79
7	<i>Instrument and Control</i>	6.358.328,28
8	<i>Civil Work</i>	28.366.578,54
Total		152.628.170
USD/kW		16.000
Total (Rupiah)		Rp. 2.442.050.725.600

Tabel 4. 6 Nilai Kebutuhan komponen penerapan Combined Cycle

Dalam perhitungan perkiraan nilai investasi ini berdasarkan perkiraan harga sesuai referensi dan menyesuaikan dengan kapasitas dari KW dari rencana Gas turbine yang di gunakan, dalam perhitungan yang diberikan yaitu nilai kapasitas maksimal 150 MW , dan dengan konfigurasi 2 blok yaitu 2-2-1 yang masing masing 1 blok kapasitas outputnya sebesar 75 MW , dengan asumsi yang dihitung Adalah hanya menggunakan 1 Blok , beberapa asumsi lainnya yaitu:

Asumsi	Nilai	Keterangan
Kenaikan Tarif Listrik	Rp.1.153	Bertamnbah 1% setiap Tahun
Production (kWh/tahun)	459.900.000	Untuk penambahan CC
Heat Rate (kcal/kWh)	1.765	NPHR (6,998 BTU/kWh
Gas Price (USD/MMBtu)	3,20	Hendry Hub CY 2022 [30]
USD/IDR	16.000	Nilai 2024
Pemeliharaan (Rp/kW-tahun)	Rp 26,05	Statistik PLN 2024
Kepegawaian (Rp/kW-tahun)	Rp 16,72	Statistik PLN 2024
Administrasi (Rp/kW-tahun)	Rp 44,76	Statistik PLN 2024
Kapasitas (kW)	75.000	Skenario masing 1 BLOK
WACC	7,38 %	Devisi keuangan PT PLN Persero
Umur proyek (tahun)	30	
CAPEX (Rp) (Year-0)	Rp 2.442.050.725.600	Nilai investasi awal 1blok

Tabel 4. 7 Nilai Cost Penerapan Combined Cycle

Berdasarkan perhitungan perkiraan biaya operasi yang akan dikeluarkan. Berikut adalah perhitungan arus kas bersih pendapatan Perusahaan setelah melakukan penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP tarahan

T H N	Produc tion (kWh)	Tarif (Rp/ kWh)	TotalRev enue (Rp)	Bahan Bakar (Rp)	Pemelih araan (Rp)	Kepega waian (Rp)	Adminis trasi (Rp)	TotalCos t (Rp)	Cash In (Rp)	Cash Out (Rp)	Dis c Fac tor	PV Cash In (Rp)	PV Cash Out (Rp)	Net Present Value (Rp)	Net Cash Flow (Rp)	Cum Net CF
K E T	2	3	4=2×3	5	6	7	8	9=5+6+7 +8	10=4–9	11	12	13=10×1 2	14=11×1 2	15=13–1 4	16=10–1 1	Cum(16)
0	0		-	-	-	-	-	-	-	2.442.05 0.725.60 0	1,0 00 0	-	2.442.05 0.725.60 0	- 2.442.05 0.725.60 0	- 2.442.05 0.725.60 0	- 2.442.05 0.725.60 0
1	459.90 0.000	1.15 3	530.264.7 00.000	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	325.085.27 8.823		0,9 31 3	302.742. 856.047	-	302.742. 856.047	325.085. 278.823	- 2.116.96 5.446.77 7
2	459.90 0.000	1.16 5	535.567.3 47.000	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	330.387.92 5.823		0,8 67 3	286.534. 795.444	-	286.534. 795.444	330.387. 925.823	- 1.786.57 7.520.95 4
3	459.90 0.000	1.17 6	540.923.0 20.470	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	335.743.59 9.293		0,8 07 7	271.167. 441.202	-	271.167. 441.202	335.743. 599.293	- 1.450.83 3.921.66 2
4	459.90 0.000	1.18 8	546.332.2 50.675	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	341.152.82 9.497		0,7 52 2	256.599. 247.911	-	256.599. 247.911	341.152. 829.497	- 1.109.68 1.092.16 4
5	459.90 0.000	1.20 0	551.795.5 73.181	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	346.616.15 2.004		0,7 00 5	242.790. 560.911	-	242.790. 560.911	346.616. 152.004	- 763.064. 940.160
6	459.90 0.000	1.21 2	557.313.5 28.913	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	352.134.10 7.736		0,6 52 3	229.703. 543.654	-	229.703. 543.654	352.134. 107.736	- 410.930. 832.424
7	459.90 0.000	1.22 4	562.886.6 64.202	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	357.707.24 3.025		0,6 07 5	217.302. 106.654	-	217.302. 106.654	357.707. 243.025	- 53.223.5 89.399
8	459.90 0.000	1.23 6	568.515.5 30.844	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	363.336.10 9.667		0,5 65 7	205.551. 838.122	-	205.551. 838.122	363.336. 109.667	310.112. 520.268
9	459.90 0.000	1.24 9	574.200.6 86.153	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	369.021.26 4.976		0,5 26 9	194.419. 936.345	-	194.419. 936.345	369.021. 264.976	679.133. 785.244

1 0	459.90 0.000	1.26 1	579.942.6 93.014	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	374.763.27 1.837		0,4 90 6	183.875. 143.891	-	183.875. 143.891	374.763. 271.837	1.053.89 7.057.08 1
1 1	459.90 0.000	1.27 4	585.742.1 19.945	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	380.562.69 8.767		0,4 56 9	173.887. 683.662	-	173.887. 683.662	380.562. 698.767	1.434.45 9.755.84 8
1 2	459.90 0.000	1.28 6	591.599.5 41.144	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	386.420.11 9.967		0,4 25 5	164.429. 196.842	-	164.429. 196.842	386.420. 119.967	1.820.87 9.875.81 5
1 3	459.90 0.000	1.29 9	597.515.5 36.555	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	392.336.11 5.378		0,3 96 3	155.472. 682.743	-	155.472. 682.743	392.336. 115.378	2.213.21 5.991.19 3
1 4	459.90 0.000	1.31 2	603.490.6 91.921	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	398.311.27 0.744		0,3 69 0	146.992. 440.579	-	146.992. 440.579	398.311. 270.744	2.611.52 7.261.93 7
1 5	459.90 0.000	1.32 5	609.525.5 98.840	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	404.346.17 7.663		0,3 43 7	138.964. 013.143	-	138.964. 013.143	404.346. 177.663	3.015.87 3.439.60 0
1 6	459.90 0.000	1.33 9	615.620.8 54.829	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	410.441.43 3.651		0,3 20 1	131.364. 132.407	-	131.364. 132.407	410.441. 433.651	3.426.31 4.873.25 1
1 7	459.90 0.000	1.35 2	621.777.0 63.377	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	416.597.64 2.200		0,2 98 1	124.170. 666.999	-	124.170. 666.999	416.597. 642.200	3.842.91 2.515.45 1
1 8	459.90 0.000	1.36 6	627.994.8 34.011	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	422.815.41 2.833		0,2 77 6	117.362. 571.571	-	117.362. 571.571	422.815. 412.833	4.265.72 7.928.28 4
1 9	459.90 0.000	1.37 9	634.274.7 82.351	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	429.095.36 1.174		0,2 58 5	110.919. 837.999	-	110.919. 837.999	429.095. 361.174	4.694.82 3.289.45 8
2 0	459.90 0.000	1.39 3	640.617.5 30.174	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	435.438.10 8.997		0,2 40 7	104.823. 448.412	-	104.823. 448.412	435.438. 108.997	5.130.26 1.398.45 5
2 1	459.90 0.000	1.40 7	647.023.7 05.476	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	441.844.28 4.299		0,2 24 2	99.055.3 30.000	-	99.055.3 30.000	441.844. 284.299	5.572.10 5.682.75 4
2 2	459.90 0.000	1.42 1	653.493.9 42.531	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	448.314.52 1.354		0,2 08 8	93.598.3 11.570	-	93.598.3 11.570	448.314. 521.354	6.020.42 0.204.10 7
2 3	459.90 0.000	1.43 5	660.028.8 81.956	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	454.849.46 0.779		0,1 94 4	88.436.0 81.809	-	88.436.0 81.809	454.849. 460.779	6.475.26 9.664.88 6

24	459.90 0.000	1.45 0	666.629.1 70.776	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	461.449.74 9.598		0,1 81 1	83.553.1 49.216	-	83.553.1 49.216	461.449. 749.598	6.936.71 9.414.48 4
25	459.90 0.000	1.46 4	673.295.4 62.483	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	468.116.04 1.306		0,1 68 6	78.934.8 03.653	-	78.934.8 03.653	468.116. 041.306	7.404.83 5.455.79 1
26	459.90 0.000	1.47 9	680.028.4 17.108	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	474.848.99 5.931		0,1 57 0	74.567.0 79.484	-	74.567.0 79.484	474.848. 995.931	7.879.68 4.451.72 1
27	459.90 0.000	1.49 3	686.828.7 01.279	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	481.649.28 0.102		0,1 46 2	70.436.7 20.232	-	70.436.7 20.232	481.649. 280.102	8.361.33 3.731.82 4
28	459.90 0.000	1.50 8	693.696.9 88.292	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	488.517.56 7.115		0,1 36 2	66.531.1 44.741	-	66.531.1 44.741	488.517. 567.115	8.849.85 1.298.93 8
29	459.90 0.000	1.52 3	700.633.9 58.175	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	495.454.53 6.998		0,1 26 8	62.838.4 14.769	-	62.838.4 14.769	495.454. 536.998	9.345.30 5.835.93 6
30	459.90 0.000	1.53 9	707.640.2 97.757	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	502.460.87 6.580		0,1 18 1	59.347.2 03.975	-	59.347.2 03.975	502.460. 876.580	9.847.76 6.712.51 6
J M L	13.797. 000.00 0		18.445.20 0.073.433	4.947.73 1.225.31 7	359.411 .850.00 0	230.685 .840.00 0	617.553 .720.00 0	6.155.38 2.635.31 7	12.289.817 .438.115,7 0			4.536.37 2.383.98 7	2.442.05 0.725.60 0	2.094.32 1.658.38 7	Rp 9.847.76 6.712.51 6	

Tabel 4. 8 Arus Kas Penerapan Combined Cycle

Dari tabel diatas hasil dari nilai ekonomi berdasarkan PP,NPV,PI, dan IRR Adalah:

<i>Net Present Value (Rp)</i>	Rp 2.094.321.658387
<i>Profitabilty Index</i>	1,858
<i>Internal Rate Of Return</i>	14,52%
<i>Payback Period</i>	7,51

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan nilai PP,NPV,PI,dan IRR

Dalam penelitian ini,untuk menentukan analisis kelayakan ekonomi saya menggunakan 4 jenis analisis data, berikut hasil dari analisis data yang dilakukan:

4.1.2.1. *Net Present Value (NPV)*

Dari data yang telah di dapatkan, berikut nilai dari *Net Present Value (NPV)* penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan:

Dengan arus kas bersih tahunan sebesar Rp.459.900.000 dan investasi awal sebesar Rp. 2.442.050.725.600 Sehingga nilai NPV nya adalah:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Rt}{(1+r)^t} - I_0$$

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Rp. 459.900.000}{(1 + 0,1)^t} - Rp. 2.442.050.725.600$$

$$NPV = Rp. 2.094.321.658.387$$

4.1.2.2. *Profitabilty Index (PI)*

Dari data yang telah di dapatkan, berikut nilai dari *Profitabilty Index (PI)* penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan:

$$Profitabilty Index = \frac{NPV + Investasi Awal}{Investasi Awal}$$

$$Profitabilty Index = \frac{Rp. 2.094.321.658.387 + Rp. 2.442.050.725.600}{Rp. 2.442.050.725.600}$$

$$Profitabilty Index = 1,858$$

4.1.2.3. *Internal Rate Of Return (IRR)*

Dari data yang telah di dapatkan, berikut nilai dari *Internal rate Of Return (IRR)* penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan:

Nilai IRR adalah tingkat diskonto yang merupakan $NPV = 0$. Sehingga IRR yang digunakan untuk mengukur efisiensi investasi dan membandingkan dengan Tingkat pengembalian yang di harapkan.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{Rt}{(1+r)^t} - I_0$$

$$IRR = 14,52 \%$$

4.1.2.4. *Payback Period (PP)*

Dari data yang telah di dapatkan, berikut nilai dari *Payback Period* penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan:

$$Payback Period = \frac{Investasi Awal}{Arus kas Tahunan}$$

$$Payback Period = \frac{Rp\ 2.442.050.725.600}{Rp. 459.900.000}$$

$$Payback Period = 7,5 \text{ atau } (\pm 7 \text{ Tahun})$$

4.2 Pembahasan

4.2.1. Study Penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan

4.2.1.1. Pemilihan Lokasi dan Lingkungan

Lokasi GT MPP Tarahan yang direncanakan untuk ditingkatkan menjadi *Combined Cycle* terletak di Desa Rangai Tri Tunggal, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Tarahan, Lampung. Lokasi ini sebelumnya untuk penempatan GT MPP TM 2500 sebanyak 4 unit dengan kapasitas 4 X 25 MW termasuk peralatan BOP dan *infrastruktur* yang diperlukan, yang sekarang tinggal 1 unit GT MPP sehubungan dengan 3 unit GT MPP telah direlokasi ke Punagaya. Luas area yang tersedia untuk rencana peningkatan *Combined Cycle* sekitar 2,64 HA dan masih tersedia lahan yang bisa dipergunakan untuk pengembangan *Combined Cycle* yang posisinya terletak di depan lokasi pembangkit dengan luas area sekitar 1 HA. Beberapa infrastruktur dan peralatan BOP masih terdapat di lokasi pembangkit seperti : Tanki HSD, *Work Shop*, *Ware House*, *Compressor*, WTP, WWTP, dll yang nantinya masih dapat dimanfaatkan untuk fasilitas dan infrastruktur *combined cycle*.

Rencana evakuasi daya *output Combined cycle PLTG MPP Tarahan* tetap ke sistem kelistrikan Lampung melalui GI 150 kV Tarahan Baru, dimana akan memerlukan tambahan peralatan 150 kV untuk bay 150 kV yang saat ini kosong karena peralatan 150 kV termasuk yang direlokasi ke Punagaya.

1. Lokasi Lahan.

Lokasi PLTG MPP Tarahan berada pada koordinat 5°31'6.65"S 105°20'45.48"E. Secara Administrasi berada di Desa Rangai Tri Tunggal, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung. PLTG MPP Tarahan saat ini memanfaatkan lahan dengan luas ±2,64 Ha, dan luas area kosong yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan ±1,1 Ha.

2. Kepemilikan Lahan dan Zonasi Lahan

Lahan PLTG MPP Tarahan dan *available area* saat ini dimiliki oleh PT PLN (Persero). Berdasarkan Peta Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Lampung Selatan pada lokasi PLTG MPP Tarahan tidak memiliki peruntukan lahan. Berdasarkan faktor kesesuaian mengenai tata ruang yang mengharuskan pembangkit listrik berada di Kawasan industri atau Kawasan Pembangkitan Listrik, maka perlu dilakukan perubahan kesesuaian RTRW ke Pemerintah Daerah (Pemda) menjadi Kawasan industri atau Kawasan Pembangkitan Listrik untuk lokasi pembangkit ini. Berikut gambarnya



Gambar 4 16 Area PLTG MPP Tarahan

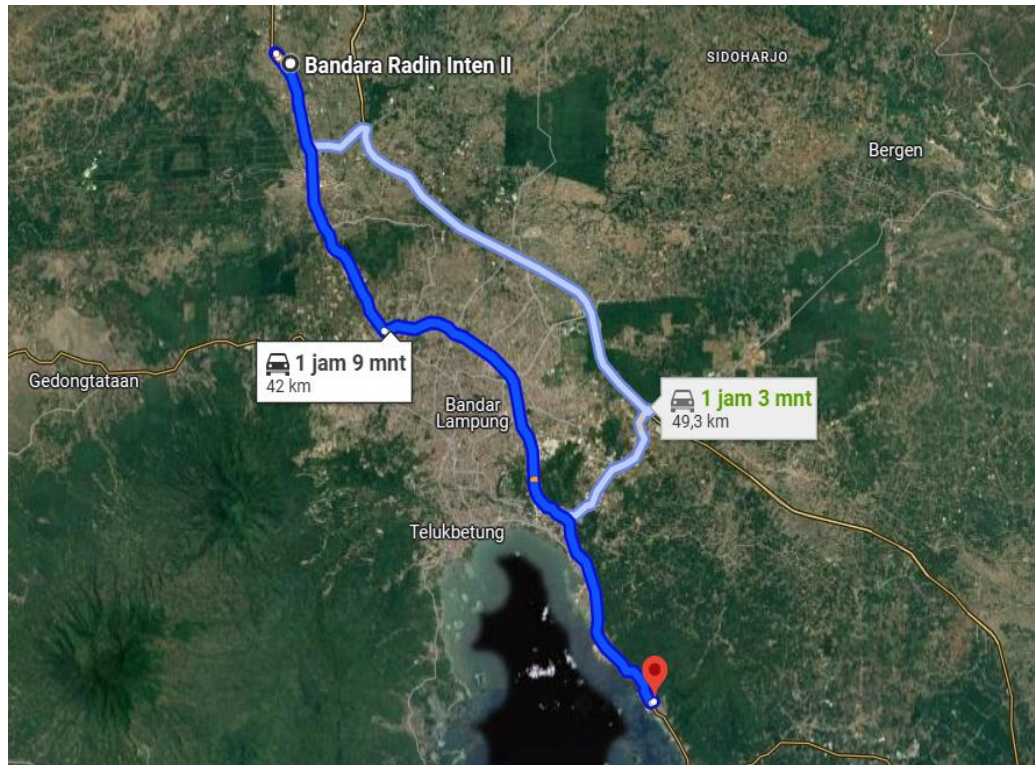
3. Akses Lokasi

Kondisi akses menuju lokasi dapat ditempuh dari Bandara Radin Inten II, Lampung menuju Tarahan. Akses jalan dari bandara menuju lokasi adalah melalui Jalan Nasional Lintas Sumatera dan melalui kota bandar lampung. Kondisi jalan Nasional memiliki lebar jalan 2x3 m dengan perkerasan jalan berupa aspal *hotmix*. Kondisi jalan Nasional sangat baik. Tidak ada jalur dan akses kereta aktif untuk menuju lokasi. Jalur kereta berakhir di PT Bukit Asam yang hanya melayani kereta batubara.

Bandara terbesar dan terdekat dari lokasi PLTG MPP Tarahan di Kabupaten Lampung Selatan adalah Bandara Internasional Radin Inten II. Bandara ini berperan sebagai pusat transportasi udara utama di Provinsi Lampung, melayani penerbangan domestik maupun internasional. Dengan jarak sekitar 42,2 km dari lokasi, Bandara Radin Inten II memberikan akses yang strategis bagi mobilitas tenaga kerja, logistik, serta kebutuhan operasional pembangkit, mendukung kelancaran distribusi dan konektivitas ke berbagai wilayah. Pelabuhan terbesar yang berada paling dekat dengan lokasi PLTG MPP Tarahan di Kabupaten Lampung Selatan adalah Pelabuhan Panjang.

Pelabuhan ini berfungsi sebagai gerbang utama bagi aktivitas logistik dan distribusi di wilayah tersebut. Dengan jarak sekitar 8,6 km dari lokasi, Pelabuhan Panjang

menawarkan akses strategis untuk mendukung mobilitas peralatan, bahan baku, serta keperluan operasional pembangkit. Kedekatan ini memberikan keuntungan dalam efisiensi transportasi dan rantai pasok bagi pengembangan *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan. Berikut rute bandara dan bandara



Gambar 4 17 Rute dari Bandara Raden Inten II Lampung menuju Lokasi



Gambar 4 18 Kondisi Akses Jalan Lalu Lintas Sumatra Menuju Lokasi

4. Infrastruktur Pelabuhan

Pelabuhan Panjang, yang dikelola oleh PT Pelabuhan Indonesia (Pelindo), merupakan pelabuhan utama di Provinsi Lampung dan memiliki peran penting dalam aktivitas logistik dan distribusi di wilayah Sumatra. Dengan fasilitas dermaga sepanjang lebih dari 800 meter dan kedalaman perairan mencapai hingga -23 meter LWS, pelabuhan ini mampu melayani berbagai jenis kapal, termasuk kapal berukuran besar hingga kategori Panamax.

Untuk mendukung aktivitas bongkar muat, Pelabuhan Panjang telah dilengkapi dengan berbagai fasilitas modern, termasuk *container crane*, *transtainer*, dan *top loader*. Selain itu, terdapat area penumpukan peti kemas seluas 108.114 m² serta gudang *Container Freight Station (CFS)* seluas 4.000 m², yang memastikan efisiensi dalam pengelolaan logistik dan kargo.

Dalam konteks transportasi logistik pembangunan, Pelabuhan Panjang menjadi pilihan utama karena memiliki *laydown area* untuk material baik *indoor* maupun *outdoor* serta fasilitas *crane* untuk *unloading* dengan kapasitas maksimal 40–70 ton. Infrastruktur yang telah tersedia ini menjadikan Pelabuhan Panjang lebih siap dalam mendukung proyek-proyek skala besar seperti pembangunan *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan, memastikan kelancaran distribusi peralatan dan material secara optimal.

Dengan kesiapan infrastruktur, peralatan canggih, dan aksesibilitas yang baik, Pelabuhan Panjang terus berperan sebagai simpul utama dalam rantai pasok nasional dan internasional, memperkuat konektivitas maritim Indonesia. Berikut gambar kondisi keseluruhan pelabuhan panjang



Gambar 4 19 Kondisi Keseluruhan Pelabuhan Panjang



Gambar 4 20 Kondisi Pelabuhan Panjang



Gambar 4 21 Kondisi Pelabuhan Penyebrangan Bakauheni (Sebagai Alternatif)



Gambar 4 22 Kondisi Pelabuhan Bakauheni (Sebagai alternatif)(aerial view)

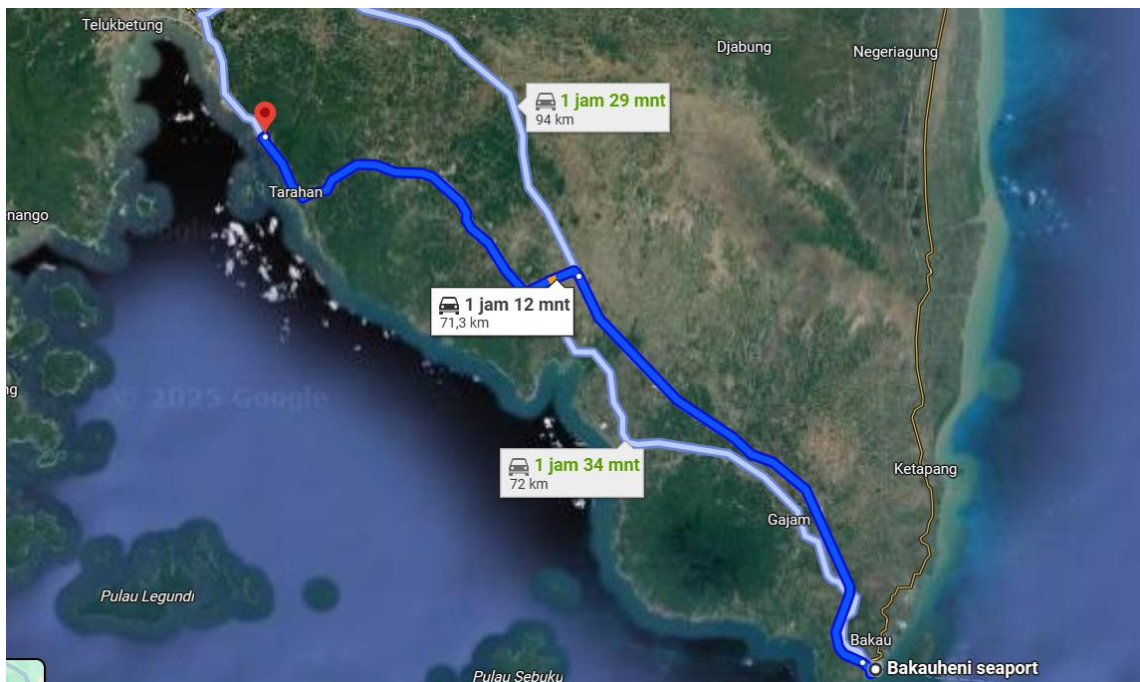
Material dan peralatan untuk proyek *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan dapat dibongkar di Pelabuhan Bakauheni, yang dikelola oleh PT Pelabuhan Indonesia (Pelindo). Dermaga pelabuhan ini direkomendasikan untuk digunakan karena memiliki akses langsung ke jaringan jalan utama, sehingga truk *trailer* yang mengangkut alat berat dapat dengan mudah masuk dan keluar dari area pelabuhan.

Pengangkutan material dan alat berat dari Pelabuhan Bakauheni menuju PLTG MPP Tarahan dapat dilakukan melalui rute berikut:

1. Dari Pelabuhan Bakauheni, kendaraan keluar melalui pintu gerbang utama dan masuk ke Jalan Lintas Sumatra (Jalinsum). Jarak awal perjalanan sekitar 5 km, dengan kondisi jalan beraspal selebar 7 meter. Jalan ini merupakan jalan kelas satu dengan jenis arterial, dan beban poros maksimum yang diizinkan adalah 10 ton.
2. Melanjutkan perjalanan melalui Jalan Lintas Timur Sumatra menuju Kota Kalianda dengan jarak 25 km. Jalan ini memiliki lebar 8 meter, termasuk jalan kelas satu, dan mendukung kendaraan berat dengan beban poros maksimum 10 ton.
3. Dari Kota Kalianda, kendaraan melanjutkan perjalanan melalui Jalan Lintas Sumatra menuju Panjang, dengan jarak sekitar 30 km. Jalan ini merupakan jalan kelas satu, beraspal dengan lebar 8 meter, dan memiliki kapasitas beban maksimum 10 ton per poros.
4. Setelah mencapai wilayah Panjang, truk berbelok ke arah PLTU Tarahan melalui Jl. Raya Tarahan, dengan jarak tempuh sekitar 5 km. Jalan ini memiliki kelas dua dengan tipe arteri, lebar 6 meter, dan tetap mendukung beban 10 ton per poros.

5. Tahap akhir perjalanan menuju PLTG MPP Tarahan dilakukan melalui jalan lokal dengan jarak 1 km. Jalan ini merupakan jalan kelas tiga dengan tipe jalan lokal, memiliki lebar sekitar 5 meter, dan beban gandar maksimum yang diizinkan adalah 4 ton.

Dengan rute ini, pengangkutan material dan peralatan dari Pelabuhan Bakauheni menuju PLTG MPP Tarahan dapat dilakukan dengan efisien, memanfaatkan jalur yang telah tersedia serta mempertimbangkan kapasitas kendaraan berat yang digunakan. Berikut gambar rute pelabuhan dengan lokasi mpp tarahan.



Gambar 4 23 Rute Pelabuhan Penyebrangan (ASDP) Bakauheni ke lokasi

5. Sumber Suplai Air.

Suplay air akan menggunakan sumber dari PDAM dengan *system* transporting tangki

6. Kondisi Ketersediaan Lahan

Ketersediaan lahan yang dapat dimanfaatkan untuk penambahan peralatan dalam pengembangan *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan terdapat disisi Pantai (area pergudangan/ depan Admin Building) dan sisi depan permukaan kompleks PLTG MPP Tarahan.

1. Area Pergudangan

Area pergudangan yang dimaksud ini adalah area depan dari seberang Admin Building yang saat ini dimanfaatkan untuk Gudang Terbuka, Gudang *Chemical Cair*, Ruang Oli, Ruang Gas. Area ini akan dimanfaatkan untuk penempatan *cooling tower* untuk *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan. Lokasi ini dipilih karena berdekatan dengan sumber air yang di ambil dari air laut dan dekat dengan pantai. Dari hasil survei diketahui, dilokasi ini terdapat aliran *discharge canal / outfall* dari PLTU Tarahan.

Berikut gambar area pergudangan sekitaran MPP Tarahan.



Gambar 4 24 Kondisi Aerial View- Area Pergudangan



Gambar 4 25 Kondisi Pergudangan

2. Area Depan

Kondisi area depan PLTG MPP Tarahan memiliki kondisi lahan yang tidak termanfaatkan. Saat ini lahan ditumbuhi semak belukar dan sebagai penampungan Batubara yang terjatuh dari conveyor. Untuk Lokasi ini akan dimanfaatkan untuk penempatan HRSG dan Steam Turbine serta relokasi dari trafo 150 kV. Ketersediaan lahan di area ini dengan tidak melewati *conveyor* sekitar $\pm 1,1$ Ha. Berikut gambar area depan



Gambar 4 26 Kondisi Aerial View-Area Depan



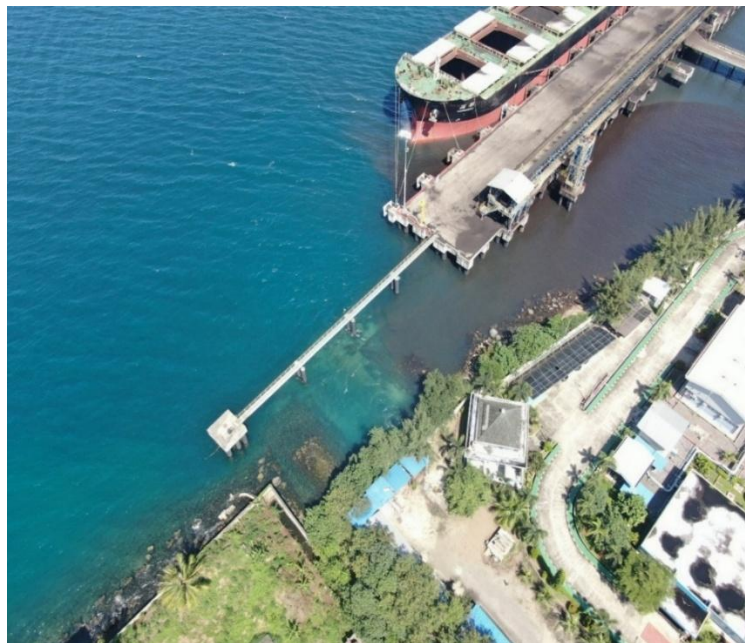
Gambar 4 27 Kondisi Area Depan

7. Kondisi Perairan

Tepat di muka PLTG MPP Tarahan merupakan *jetty* dari PT Bukit Asam yang digunakan untuk kegiatan loading Batubara. Dikarenakan terdapat kegiatan tersebut maka perairan dekat dengan *jetty* mengalami sedimentasi Batubara yang berjatuhan dari proses loading. Berikut gambar kondisi perairan.



Gambar 4 28 Kondisi Perairan



Gambar 4 29 Kondisi Perairan 2

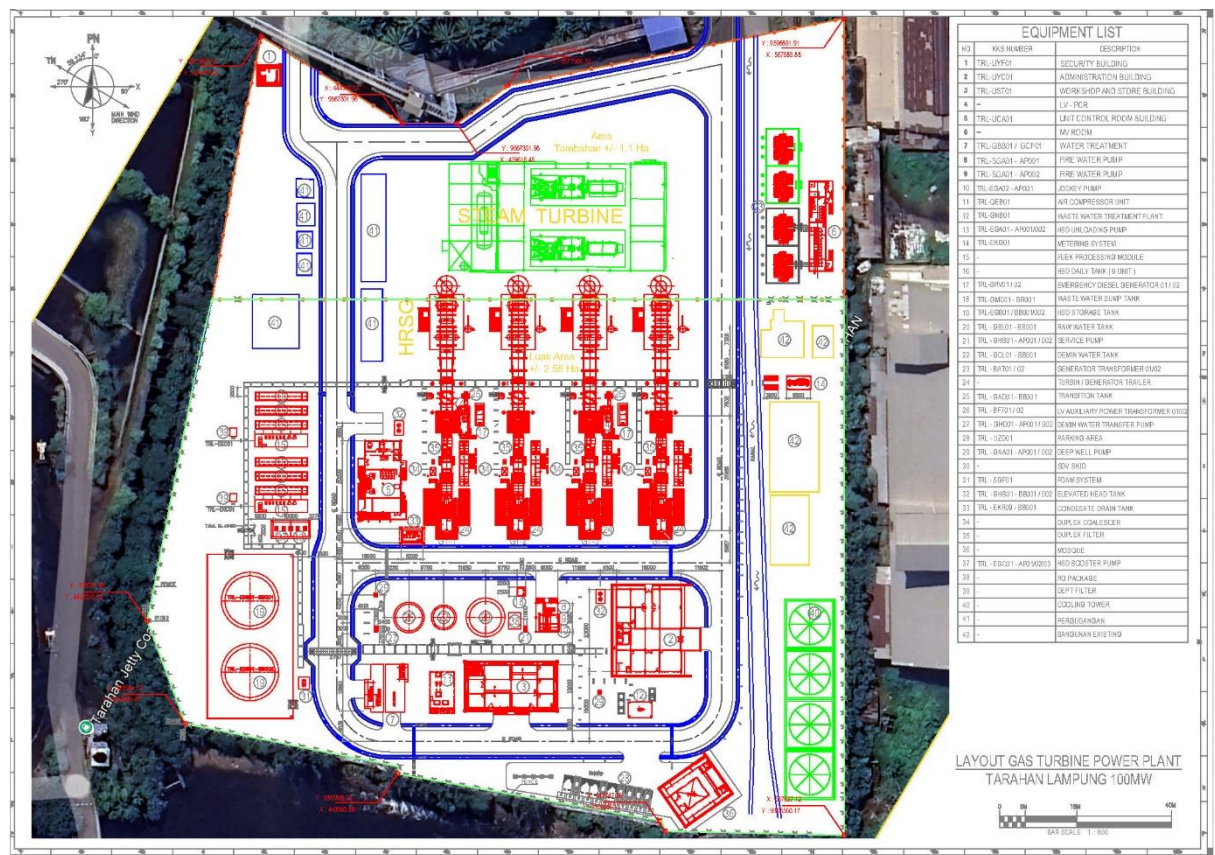
4.2.1.2.Design Pembangkit *Combined Cycle* untuk *Power plant* Layout

A.Konsep *Layout Design* Penerapan *Combined Cycle*

Layout untuk pengembangan PLTG MPP Tarahan menjadi *Combined Cycle* dengan memanfaatkan kondisi existing PLTG MPP Tarahan. Kondisi *existing* PLTG MPP Tarahan terdapat 4 unit *Gas Turbine* tipe GE TM 2500. Dengan pengembangan menjadi *Combined Cycle* dapat dijadikan 2 kali konfigurasi 2-2-1 CCPP. Penambahan *equipment* utama meliputi penambahan HRSG dan *Steam Turbine*.

Penambahan fasilitas *Cooling Tower* di butuhkan untuk fasilitas *cooling system*. HRSG dan *Steam Turbine* akan di tempatkan disisi belakang dari GT yang menempati area kosong di muka depan komplek eksisting PLTG MPP Tarahan.Cooling Tower di tempatkan pada area pergudangan yang berada di sisi belakang komplek *existing* dan dekat dengan laut. Relokasi 2 trafo *exiting* dan MW Room diperlukan karena Lokasi ini digunakan untuk penempatan HRSG.

Relokasi pergudangan sisi belakang juga di perlukan karena lokasi ini digunakan untuk penempatan *cooling tower*. Kebutuhan penambahan area di depan komplek PLTG MPP Tarahan adalah $\pm 1,1$ Ha, yang digunakan untuk penempatan HRSG, ST, Trafo, MR Room, dan Lokasi area relokasi pergudangan



Gambar 4 30 Layout PLTG MPP Tarahan CCPP

B. Perbandingan Penerapan *Combined Cycle* dengan pembangkit lainnya.

Penerapan *combined cycle* adalah alternatif efisien dalam penambahan pembangkit untuk subsistem Lampung, sebab dari aspek teknis beberapa infrastruktur pendukung di MPP Tarahan sudah ada dan tersedia seperti:

1. Gas Turbine
2. Sistem bahan bakar gas
3. Switchboard 150 kv
4. Sistem pendingin
5. Lahan dan koneksi transmisi

Dengan menerapkan *Combined Cycle* kita hanya menambahkan;

1. HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*)
2. Steam Turbine
3. Sistem kondensor tambahan

Terdapatnya gas buang yang sebelumnya terbuang kembali oleh PLTG, dimanfaatkan menjadi PLTGU yang bisa menghasilkan *energy* listrik kembali, kemudian untuk opsi pengembangan sistem menggunakan pembangkit EBT untuk daerah MPP Tarahan Lampung sendiri jika menggunakan PLTS seperti solar PV, untuk intermitennya masih kurang, serta tidak bisa menjadi base load dan masih membutuhkan lahan untuk penyimpanan baterai, dan dapat dikatakan bahwa tidak menambah signifikan short circuit level (IKS Kecil)

Secara garis besar dapat disimpulkan manfaat penerapan *combined cycle* di MPP Tarahan Lampung adalah ;

1. Memanfaatkan aset *existing*
2. Meningkatkan efisiensi secara signifikan
3. Menurunkan biaya produksi listrik
4. Meningkatkan kekuatan sistem Lampung
5. Minim risiko regulasi dan lingkungan
6. Waktu implementasinya relatif cepat

C. Analisis SWOT penerapan *Combined Cycle* di PLTG MPP Tarahan

Dalam memperkuat analisis kelayakan penerapan *Combined Cycle* juga dibutuhkan Analisis SWOT penerapan *Combined cycle* di MPP Tarahan, berikut:

a. *Strengths* (Kelebihan)

a) Efisiensi Tinggi

Efisiensi termal 50-60 % jauh lebih tinggi dibanding open cycle (± 35 %), konsumsi gas per kWh lebih rendah dan biaya produksi listrik pertahun turun.

b) Memanfaatkan infrastruktur existing

Tidak perlu membangun pembangkit teknologi lain , capexnya lebih rendah dibanding teknologi lain dan risiko konstruksinya kecil.

c) Meningkatkan indeks kekuatan sistem (IKS)

Karena adanya peningkatan arus hubung singkat jika di terapkannya *combined cycle*, sehingga sistem Lampung bisa menjadi lebih kuat.

d) *Flexibel* Operasi

Bisa beroperasi sebagai base load maupun mid-merit, yang cocok untuk sistem regional yang sedang berkembang.

e) Emisi Lebih rendah dibanding PLTU

Gas menghasilkan emisi CO₂ lebih rendah

b. *Weaknesses* (Kelemahan)

a) Ketergantungan pada gas

Masih bergantung pada pasokan gas, sehingga apabila terganggu maka operasi akan berdampak secara langsung

b) Harga gas fluktuatif

Dimana IRR sangat sensitif terhadap USD/MMBTU

c) Masih berbasis fosil

Tidak sepenuhnya sejalan dengan target pemerintah NET Zero dalam jangka panjang.

d) Investasi tambahan awal

HRSG, *Steam turbine*, dan sistem tambahan tetap membutuhkan investasi yang besar.

c. *Opportunities* (Peluang)

a) Mendukung transisi energi

Gas dianggap sebagai transisi energi(bridging fuel)

b) Menarik investasi

Sistem yang lebih kuat dapat meningkatkan kepercayaan investor industri

c) Mendukung pertumbuhan industri Lampung

Ketersediaan listrik menjadi stabil dan dapat mendorong kawasan industri dan pelabuhan

d) Integrasi EBT di masa depan

Combined Cycle dapat menjadi penyeimbang (*Balancing plant*) untuk PLTS/EBT

d. *Threats* (Ancaman)

a) Kebijakan Dekarbonisasi

Jika kebijakan nasional mempercepat pengurangan fosil, umur ekonomis bisa terancam

b) Perkembangan *Storage Technology*

Jika baterai menjadi sangat murah, PLTS dan storage bisa menjadi pesaing yang kuat

c) Risiko pasokan gas

Ketergantungan pada kontrak gas jangka panjang

D. Dampak Implementasi *Combined Cycle*

a) Dampak Ekonomi

Untuk implementasi *Combined Cycle* adapun dampak ekonomi yang bisa di timbulkan yaitu:

1. Penurunan biaya produksi

Adanya penurunan biaya produksi dimana efisiensi bisa meningkat sehingga fuel per kWh bisa turun dan BPP sistem juga turun.

2. Peningkatan keandalan daya

Peningkatan biaya keandalan karena listrik menjadi stabil kemudian resiko pematangan turun serta produktivitas industri nya bisa naik

3. Penciptaan lapangan pekerjaan

Bisa menciptakan lapangan pekerjaan selama konstruksi dan operasi penambahan unit

4. Efek multipler

Menyebabkan stabilitas energi serta investasi industri meningkat , otomatis akan meningkatkan PAD daerah.

b) Dampak Sosial

Untuk implementasi *Combined Cycle* adapun dampak sosial yang bisa di timbulkan yaitu:

1. Ketersediaan listrik lebih andal

Mengurangi potensi gangguan layanan publik seperti rumah sakit, air , dan transportasi)

2. Emisi lebih rendah

Kualitas udara lebih baik dibanding batubara

3. Persepsi publik

Masyarakat mungkin melihat ini sebagai solusi pragmatis, tetapi kelompok lingkungan bisa menilai masih berbasis fosil

c) Dampak Politik & Kebijakan

Untuk implementasi *Combined Cycle* adapun dampak politik dan kebijakan yang bisa di timbulkan yaitu:

1. Mendukung ketahanan energi nasional

Mengurangi risiko defisit daya regional

2. Selaras dengan RUPTL transisi energi

Gas masih diperbolehkan sebagai energi transisi

3. Potensi kritik

Beberapa golongan terlalu menekankan EBT 100 % , dimana proyek gas bisa diperdebatkan.

4. Stabilitas daerah

Pasokan listrik stabil dan mendukung stabilitas ekonomi regional.

4.2.2. Analisis Kelayakan Teknis Penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan

4.2.2.1. Analisa Aliran Daya

Analisis hubung singkat menunjukkan hasil perhitungan arus hubung singkat yang bertujuan untuk menentukan rating hubung singkat peralatan sesuai standar yang berlaku. Nilai *breaking capacity* untuk GI 150 kV diprasyaratkan sebesar 31,5 kA, 40 kA, dan 50 kA dimana nilai 40 kA merupakan rating lazim yang digunakan. Sebagai informasi, nilai *rating short withstand* peralatan di gardu Lampung yang beroperasi saat ini adalah di 40 kA. Nilai arus hubung singkat tidak boleh melebihi *rating short withstand current* ataupun *breaking capacity* peralatan yang ada yang ditentukan dalam Standarisasi Spesifikasi Teknis Material Transmisi Utama (MTU) dan penjelasannya (SK DIR No.216.K/DIR/2013). Pada analisis hubung singkat, simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Digsilent Power Factory* dan kalkulasi gangguan hubung singkat menggunakan standar IEC 60909.

1. Hasil Simulasi Hubung Singkat berdasarkan nilai Arus

Hasil simulasi hubung singkat disampaikan dalam dua skenario, yakni sebelum PLTGU beroperasi (Kasus-1) dan setelah PLTGU beroperasi (Kasus-2).

No	Gardu Induk	Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah		Hubung Singkat 3 Fasa		Breaking Capacity
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	I (kA)
		I (kA)	I (kA)	I (kA)	I (kA)	
1	LAMPUNG 1	15,75	16,61	21,24	22,06	40
2	METRO	13,84	14,51	18,71	19,34	40
3	NEW TARAHAH	20,68	24,72	24,52	27,12	40
4	SEBALANG	23,23	25,32	23,73	25,39	40
5	SEPUTIH BANYAK	8,04	8,15	11,54	11,68	40
6	SRIBAWONO	11,92	12,53	16,65	17,23	40
7	SUTAMI	15,06	16,48	18,51	19,69	40

Tabel 4. 10 Hasil Simulasi Berdasarkan Nilai Arus

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan bahwa gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan satu fasa ke tanah pada busbar di GI 150 kV New Tarahan dan sekitarnya seperti yang ditunjukkan pada tabel diatas. Dari hasil simulasi menunjukkan adanya kenaikan nilai hubung singkat tetapi tidak signifikan baik tiga fasa maupun satu fasa ke tanah. Setelah *combined cycle* PLTG MPP Tarahan beroperasi, didapatkan bahwa nilai arus hubung singkat pada busbar GI 150 kV New Tarahan masih dibawah 40 kA.

Penerapan *Combined Cycle* pada PLTGU 150 MW meningkatkan kontribusi sumber pada sistem sehingga arus hubung singkat di seluruh gardu induk mengalami kenaikan, baik untuk gangguan 1 fasa ke tanah maupun 3 fasa. Kenaikan paling signifikan terjadi di GI New Tarahan, dengan arus 1 fasa–tanah naik dari 20,68 kA menjadi 24,72 kA (+19,54%) dan arus 3 fasa naik dari 24,52 kA menjadi 27,12 kA (+10,60%).

Meskipun demikian, seluruh nilai arus hubung singkat setelah penerapan *Combined Cycle* masih berada di bawah breaking capacity circuit breaker 40 kA, dengan kondisi terburuk sebesar 27,12 kA (67,8% dari rating), sehingga peralatan pemutus masih dalam batas aman. Namun, GI New Tarahan dan Sebalang memiliki utilisasi rating tertinggi sehingga direkomendasikan dilakukan review lanjutan terhadap rating making/peak, thermal withstand, serta penyesuaian setting koordinasi proteksi pasca peningkatan arus gangguan.

Dalam tabel mengenai nilai hubung singkat berdasarkan nilai arus , untuk penerapan *combined cycle* tersebut menunjukkan kelayakan , hal ini di pengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya;

1. Semua arus hubung singkat setelah diterapkannya *Combined cycle* masih dibawah *breaking capacity* 40.

Dimana untuk gardu induk New Tarahan – untuk 3 Fasa = $\frac{27,12}{40} = 67,8 \%$ dari kapasitas pemutusan 40 kA yang artinya nilai 27,12 kA merupakan arus hubung singkat terbesar yang muncul setelah penerapa *Combined Cycle* di GI New Tarahan, gangguan 30 fasa. Artinya Circuit Breakernya masih punya margin 32,2 % atau margin absolut 12,88 kA, begitu pun dengan gardu induk lainnya. Circuit breakernya masih memiliki kemampuan untuk memutus arus gangguan setelah dilakukannya penerapan *Combined Cycle*.

2. Kenaikan arus sesudah penerapan *combined cycle* masih wajar.

Kenaikan arus memang terjadi karena sistem makin kuat atau impedansi sumber turun tetapi masih dalam rentang yang umum. Artinya mayoritas GI naik sekitar 1-9 % , dimana yang paling signifikan di New Tarahan, 1 Fasa-Tanah : +19,5 % , dan 3 fasa : +10,6 %.

Sehingga dapat di simpulkan bahwa penerapan *Combined Cycle* pada nilai hubung singkat berdasarkan nilai arus dapat dikategorikan layak melihat seluruh arus hubung singkat setelah penerapan *Combined Cycle* masih berada dibawah *breaking capacity* 40 kA, dengan nilai maksimum 27,12 kA.

2. Hasil analisa aliran daya berdasarkan nilai tegangan

Berikut hasil simulasi hubung singkat berdasarkan nilai tegangan, dimana kasus 1 adalah sebelum diterapkannya *combined cycle*, dan kasus 2 adalah setelah diterapkannya *Combined Cycle*.

No	Gardu Induk	Kasus-1		Kasus-2		ΔV	ΔV	Keterangan
		(kV)	(pu)	(kV)	(pu)	(kV)	(kV)	
1	LAMPUNG 1	151,2	1,01	151,5	1,01	0,3	0,20 %	Memenuhi
2	METRO	151,1	1,01	151,5	1,01	0,4	0,36 %	Memenuhi
3	NEW TARAHAH	151,1	1,01	152	1,01	0,9	0,60 %	Memenuhi
4	SEBALANG	151,2	1,01	152	1,01	0,8	0,53 %	Memenuhi
5	SEPUTIH BANYAK	155,9	1,04	156,1	1,04	0,2	0,13 %	Memenuhi
6	SRIBAWONO	153,6	1,02	154	1,03	0,4	0,26 %	Memenuhi
7	SUTAMI	150	1,00	150,8	1,01	0,8	0,53 %	Memenuhi

Tabel 4. 11 Hasil simulasi Hubung singkat berdasarkan nilai tegangan

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa:

1. Tegangan nominal sistem berada di kisaran 150-156 kV.

Nilai dari simulasi berada di kisaran 150-156 kV atau 1.00-1.04 p.u yang berarti semua tegangan antar GI sudah stabil dan sistem masih normal. Semua bus berada di atas tegangan nominal, atau tidak ada undervoltage. Semua bus mengalami peningkatan tegangan kecil ($<1\%$) menunjukkan efek penguatan sistem karena tambahan pembangkit dari *Combined Cycle*.

2. Setelah penerapan *Combined Cycle* semua tegangan sedikit meningkat

Semua tegangan meningkat 0,13- 06 % yang menandakan bahwa sistem menjadi lebih kuat karena adanya penambahan sumber daya atau generator (*Combined Cycle*) atau dengan arti lain stabilitas tegangannya normal.

3. Tidak ada bus yang melebihi batas aman overvoltage

Berdasarkan IEEE/IEC , tegangan aman untuk sistem 150 kV = 5 % dari nominal, dimana batas aman = 142,5 kV – 157,5 kV (0,95-1.05 p.u), selisih maksimumnya hanya 0,9 kV , dimana jauh dari batas 5 % (,5 Kv)

Seluruh nilai tegangan simulasi kasus 1 dan 2 masih berada dalam batas operasi normal dan masih memenuhi ,dimana nilai tegangan sistem (0,95 – 1,05 p.u.) dan menunjukkan peningkatan kecil sesudah penerapan *Combined Cycle*. Hal ini berarti untuk penerapan *Combined Cycle* tidak menurunkan kualitas tegangan, melainkan akan meningkatkan kestabilan sistem.

3. Hasil analisa aliran daya berdasarkan nilai Pembebanan dan losses

Berikut hasil simulasi hubung singkat berdasarkan nilai pembebanan dan losses, dimana kasus 1 adalah sebelum diterapkannya *combined cycle*, dan kasus 2 adalah setelah diterapkannya *Combined Cycle*.

No	Jaringan Transmisi	Kasus-1		Kasus-2	
		Pembebanan (%)	Losses (%)	Pembebanan (%)	Losses (%)
1	LAMPUNG 1 - METRO	12,3	0,3	22,8	0,1
2	NEW TARAHAH – SEBALANG #1	12,9	0,9	12,9	0,9
3	NEW TARAHAH – SEBALANG #2	12,9	0,9	12,9	0,9
4	SRIBAWONO - LAMPUNG 1	11	4	11,5	4
5	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #1	6,8	4,5	8,6	6,9
6	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #2	6,8	4,5	8,6	6,9
7	SRIBAWONO – METRO	16,2	2,7	17,2	2,7
8	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #1	5,7	6,8	8,8	4,5
9	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #2	5,7	6,8	8,8	4,5
10	SUTAMI - NEW TARAHAH #1	11,8	1,5	14,9	1,5
11	SUTAMI - NEW TARAHAH #2	11,8	1,5	14,9	1,5

Tabel 4. 12 Hasil Hubung Singkat berdasarkan Pembebanan dan Losses

Dari tabel hasil simulasi, semua nilai pembebanan maupun losses masih dalam kategori sangat aman, karena nilai pembebanannya $< 60\%$ (Standar PLN atau IEC : batas normal $< 80\%$) , setelah dilakukan penerapan *Combined Cycle* , mayoritas nilai mengalami kenaikan beban 2-10 % yang menandakan sistem tersebut menerima aliran daya tambahan dari *Combined Cycle*.

Dari rugi daya (losses) sebagian besar menurun atau tetap stabil , yang artinya efisiensi sistem tersebut meningkat setelah dilakukan penerapan *Combined Cycle*. Sebagai contoh pada jaringan transmisi lampung 1 – Metro losses nya turun dari 0,3 % - 0,1 %.

Namun terdapat beberapa jaringan transmisi yang mengalami peningkatan losses seperti jaringan transmisi Sribawono- Seputih Banyak #1 naik dari 4 % ke 6,9 %. Hal ini kemungkinan karena aliran daya baru tersebut mengarah ke beban ujung sistem, sehingga terdapat pertambahan sedikit namun nilainya masih 6,9 % dan nilai tersebut masih tergolong moderate dan belum kritis. Total dari losses tersebut mayoritas turun sehingga dapat dikatakan bahwa penerapannya meningkatkan efisiensi transmisi daya di jaringan utama.

Hasil simulasi pembebanan dan rugi daya (losses) menunjukkan bahwa penerapan

sistem *Combined Cycle* pada PLTGU 150 MW tidak menimbulkan kelebihan beban pada jaringan transmisi eksisting. Nilai pembebanan seluruh saluran berkisar antara 8 % hingga 23 %, jauh di bawah batas aman 80 % kapasitas termal. Selain itu, rugi daya jaringan menunjukkan tren penurunan pada sebagian besar saluran, yang menandakan peningkatan efisiensi penyaluran energi setelah integrasi unit *Combined Cycle*. Berdasarkan hasil ini, sistem transmisi 150 kV dapat dikategorikan layak dan siap menerima tambahan daya dari PLTGU *Combined Cycle* tanpa memerlukan upgrade signifikan pada jaringan eksisting.

a. Hasil simulasi aliran daya dengan asumsi kontingensi N-1

No	Jaringan Transmisi	N-1 Kasus-1				N-1 Kasus-2			
		NEW TARA HAN - SEBA LANG	SRIB AW ONO - SEP UTI H BAN YAK	SRIB AW ONO - NEW TARA HAN	SUT AMI - NEW TARA HAN	NEW TARA HAN - SEBA LANG	SRIBA WON O - SEPU TIH BANYAK	SRIBA WON O - NEW TARA HAN	SUTA MI - NEW TARA HAN
1	LAMPUNG 1 - METRO	25,6	24,7	26,3	25	22,8	20,6	25,8	22
2	NEW TARAHAH - SEBALANG #1	25,8	12,9	12,9	12,9	25,8	12,9	12,9	12,9
3	NEW TARAHAH - SEBALANG #2	-	12,9	12,9	12,9	-	12,9	12,9	12,9
4	SRIBAWONO - LAMPUNG 1	11	10,6	12,1	11,4	11,6	11,9	11,9	12,2
5	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #1	5,7	7,7	5,4	5,7	8,6	12,3	8,2	8,7
6	SRIBAWONO - SEPUTIH BANYAK #2	5,7	-	5,4	5,7	8,6	-	8,2	8,7
7	SRIBAWONO - METRO	16,2	15,8	17,7	16,9	17,2	17,9	17,3	18,1
8	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #1	6,9	6,3	8,6	6,7	8,8	8	11,9	9,1
9	SRIBAWONO - NEW TARAHAH #2	6,9	6,3	-	6,7	8,8	8	-	9,1
10	SUTAMI - NEW TARAHAH #1	11,8	11,9	11,7	19,1	14,9	15,1	15,3	24,2
11	SUTAMI - NEW TARAHAH #2	11,8	11,9	11,7	-	14,9	15,1	15,3	-

Tabel 4. 13 Hasil simulasi berdasarkan Kontingensi N=1

Dari hasil simulasi tersebut sebelum dilakukannya penerapan *Combined Cycle* yaitu:

- Semua nilai pembebanan berada antara 5,7-26,3 %
- Tidak ada satupun saluran yang melewati 89 % dan itu berarti bahwa sistem stabil dan masih memiliki cadangan
- Pembebanan tertinggi terjadi pada jaringan transmisi Lampung 1 – Metro yaitu (26,3 %) yang menandakan itu merupakan jalur utama distribusi daya antara pusat beban

Dari hasil simulasi tersebut sebelum dilakukannya penerapan *Combined Cycle* yaitu:

1. Setelah penerapan *Combined Cycle* , beban tertinggi sedikit turun dari 26,3 % menjadi 25.8 % dan sebagian saluran juga mengalami penurunan atau peningkatan kecil yang nilainya (< 3 %)
2. Penambahan unit combine cycle masih tidak ada satupun saluran yang melewati 80 % , ini menunjukkan bahwa penambahan *combined cycle* tidak menimbulkan ketidakseimbangan aliran daya.
3. Sistem tetap reliable pada kondisi kehilangan satu elemen (N1).

Seperti terlihat pada tabel diatas untuk kasus-1, bahwa level tegangan Busbar di Gardu Induk 150 kV New Tarahan dan sekitarnya masih dalam nilai yang aman sesuai standar Grid Code (+5%, -10%) dari nominal tegangan, untuk nilai pembebanan saluran transmisi di Gardu Induk 150 kV New Tarahan masih memenuhi kriteria kontingensi N-1 (<50%), dan untuk nilai losses di beberapa saluran transmisi masih dalam nilai yang normal (<2,5%) tetapi terdapat losses yang sudah lebih dari nilai normal (>2,5%) yaitu transmisi Sribawono – Lampung 1, Sribawono Seputih #1 dan Sribawono Seputih #2, Sribawono – Metro, Sribawono – New Tarahan #1 dan Sribawono – New Tarahan #2. Pada kasus-2, terlihat bahwa level tegangan Busbar 150kV di Gardu Induk Gardu Induk 150 kV New Tarahan dan sekitarnya masih dalam nilai yang aman sesuai standar Grid Code (+5%, - 10%) dari nominal tegangan dan nilai pembebanan saluran transmisi di Gardu Induk 150 kV New Tarahan masih memenuhi kriteria kontingensi N-1 (<50%). Untuk nilai losses pada kasus-2 terjadi perbaikan pada transmisi Sribawono – New Tarahan #1 dan Sribawono – New Tarahan #2, tetapi pada Sribawono – Seputih Banyak #1 dan Sribawono – Seputih Banyak #2 memburuk (>2,5 %).

4.2.2.2. Analisa *Stabilitas Transient*

Simulasi dilakukan untuk mengetahui stabilitas jaringan berdasarkan asumsi seluruh pembangkit *fast respons* yang masih tetap beroperasi dengan pembebanan yang disesuaikan dengan beroperasinya *combined cycle* PLTG MPP Tarahan. Skenario untuk analisa Transien sebagai berikut:

- a. Skenario 1: Trip-nya 1 blok pembangkit *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan kapasitas 75 MW
- b. Skenario 2: Terjadi *fault* pada salah satu sirkuit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono

Kriteria yang diperhatikan dalam melakukan analisis stabilitas terdapat dalam Aturan Jaringan Tenaga Listrik (*Grid Code*). Frekuensi dinyatakan stabil apabila osilasi yang dihasilkan karena adanya gangguan teredam serta tidak melewati persyaratan di *Grid Code* (49,00 Hz sampai 51,00 Hz beroperasi secara terus menerus). Tegangan dinyatakan stabil ketika osilasi akibat gangguan teredam dan tidak terjadi *voltage collapse* serta tidak melebihi batas tegangan yang ditentukan *Grid Code* (-10% hingga +10% untuk tegangan 275 kV dan 150 kV).

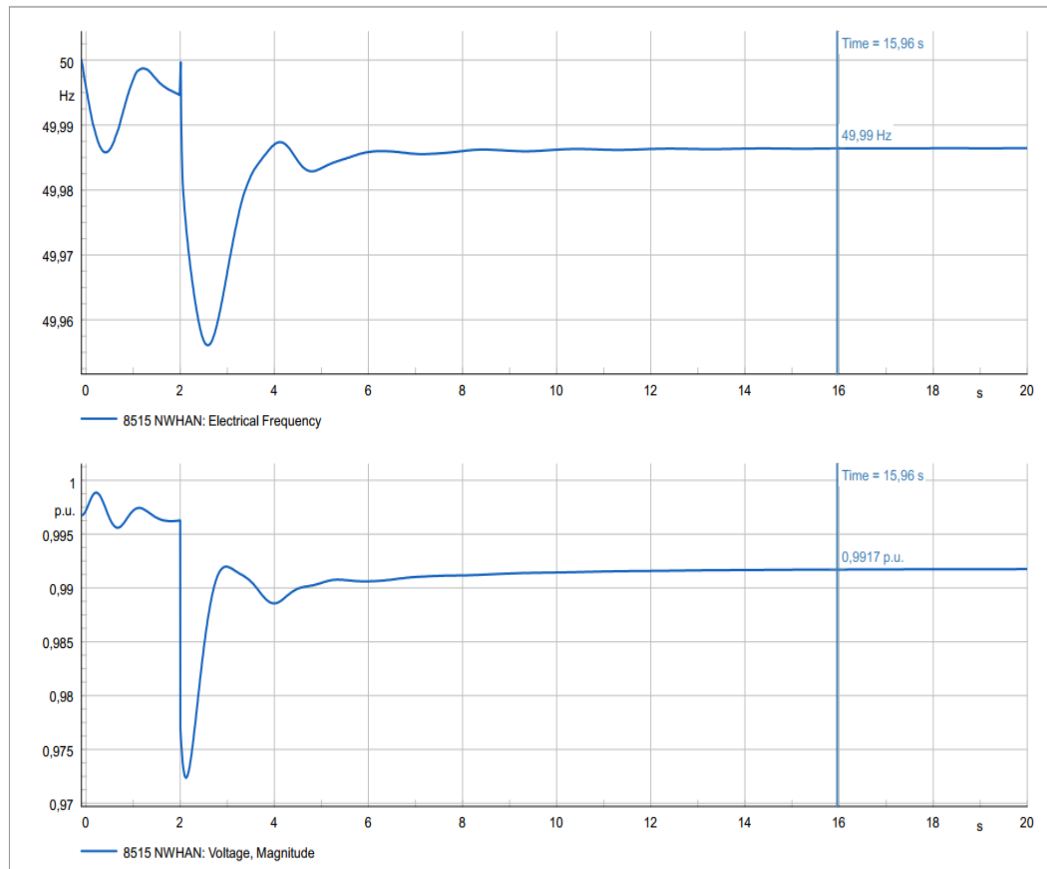
Simulasi kestabilan ini dilakukan untuk menjaga kondisi bahwa jika terjadi ketidakseimbangan antara pasokan dan beban (*generation-load mismatch*), beberapa pembangkit yang ada di sistem akan merespon untuk mengembalikan keseimbangan antara pasokan dan beban. Pembangkit yang akan merespon adalah pembangkit yang masih memiliki cadangan putar (*spinning reserve*) dan tentunya dilengkapi dengan kontrol *governor* reaksi cepat. Pada simulasi yang dilakukan, asumsi kontrol *governor* reaksi cepat didasarkan sebagai berikut :

- Kontrol *governor* menggunakan pengaturan standar dari model *governor*.
- Pembangkit yang berpartisipasi dalam mengatasi *generation-load mismatch* adalah pembangkit yang memiliki kontrol *free governor* dalam *mode isochronous* sehingga dapat memberikan respon cepat terhadap perubahan frekuensi. Pada umumnya jenis pembangkit tersebut adalah pembangkit diesel dan gas.

Berikut hasil simulasi *Transient Stability*:

- a. Skenario 1 : trip 1 Blok *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan sebesar 75 MW

Pada skenario ini, disimulasikan tripnya 1 blok pembangkit sebesar 75 MW. Hasil simulasi skenario 1 beroperasi saat waktu beban puncak (WBP) dapat dilihat pada gambar berikut.



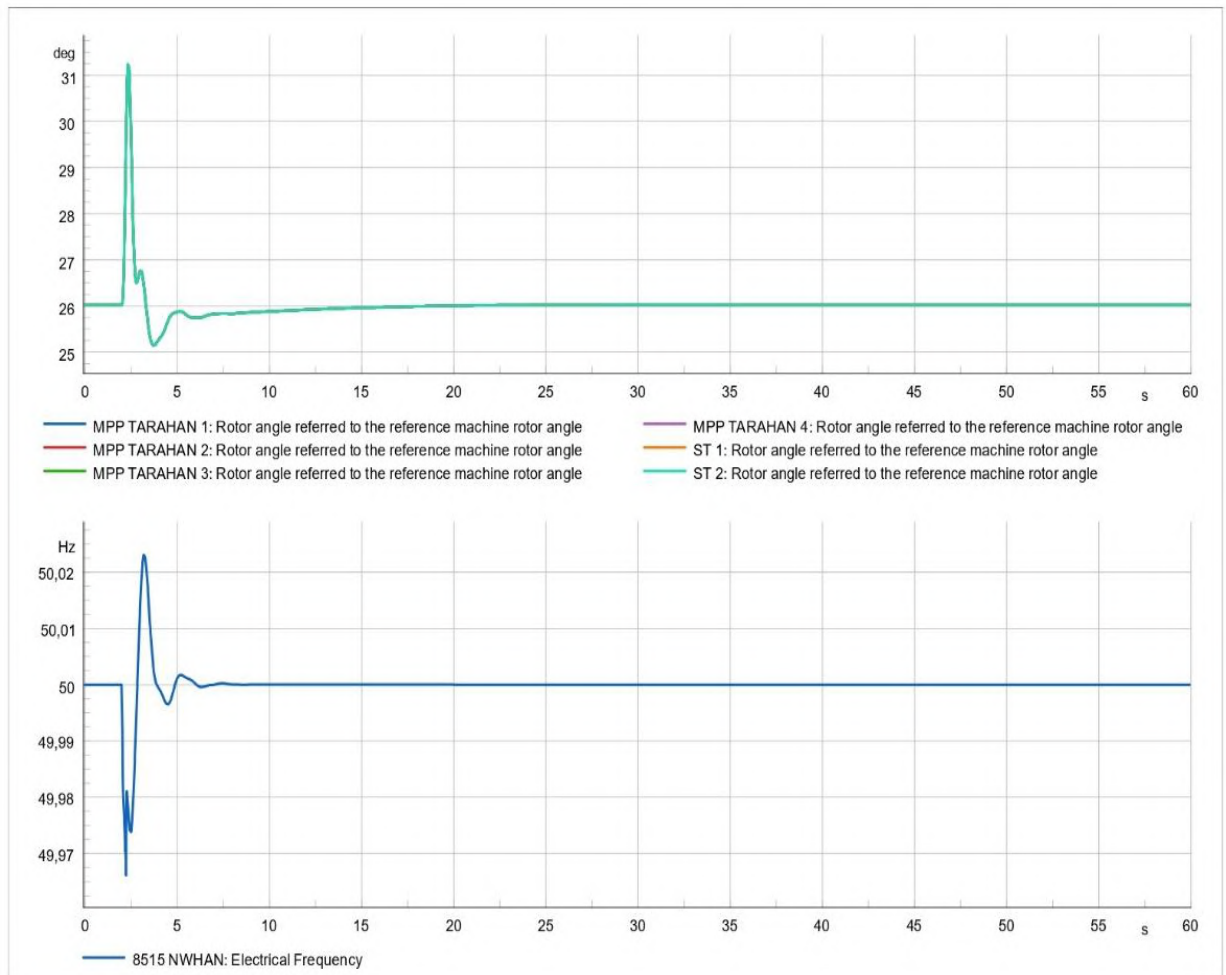
Tabel 4. 14 Grafik Transient saat beban puncak kasus 1

Berdasarkan gambar diatas, pada saat terjadi *contingency event* yang pada skenario ini adalah trip 1 blok kapasitas 75 MW maka frekuensi akan turun akibat ketidakseimbangan antara pasokan daya dan beban (*generation-load mismatch*). Sistem dalam kondisi kekurangan pasokan daya aktif dari pembangkit menyebabkan frekuensi turun hingga 49,96 Hz. Lepasnya 1 blok pembangkit mengakibatkan frekuensi turun sekitar 0,04 Hz. Pada kasus ini, sistem masih tetap stabil pada skenario lepasnya 1 blok pembangkit sebesar 75 MW.

Dari respon tegangan di atas teramati bahwa tegangan pada busbar setelah diberikan gangguan dapat kembali ke titik *stabilitas* tegangan baru yang masih dalam batas yang diprasyarkan dalam aturan *Grid Code JAMALI*, yaitu +5% sampai -10% untuk level tegangan 150 kV (0,90 p.u sd 1,05 p.u). Sistem dalam kondisi kekurangan pasokan daya dari pembangkit menyebabkan tegangan turun hingga 0,97 p.u. atau 145,5 kV, lalu normal kembali. Dapat disimpulkan ketika sistem diberikan gangguan trip 1 blok pembangkit 75 MW, sistem mampu mempertahankan level tegangan bus dalam range kondisi normal.

b. Skenario 2: Terjadinya fault pada 1 sirkuit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono

Pada skenario ini, disimulasikan terjadinya *fault* pada 1 sirkuit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono. Hasil simulasi skenario 2 beroperasi saat waktu beban puncak (WBP) dapat dilihat pada gambar berikut.



Tabel 4. 15 Grafik Transient pada Kasus 2

Berdasarkan gambar diatas, pada saat terjadi *contingency event* yang pada skenario ini ketika terjadi *fault* 1 sirkuit pada jaringan 150 kV GI New Tarahan - GI Sribawono maka frekuensi akan berfluktuasi sekitar $\pm 0,02$ Hz pada kondisi sesaat dan akan kembali ke titik stabilitas awal dan masih dalam batas yang diprasyaratkan dalam aturan *Grid Code JAMALI*, yaitu +5% sampai -10% untuk level tegangan 150 kV (0,90 p.u sd 1,05 p.u). Dapat disimpulkan ketika sistem diberikan gangguan terjadinya *fault* 1 sirkuit pada jaringan 150 kV GI New Tarahan - GI Sribawono, sistem mampu mempertahankan level tegangan bus dalam range kondisi normal.

Dari respon sudut rotor di atas dapat disimpulkan bahwa ketika sistem diberikan gangguan terjadinya *fault* 1 sirkuit pada jaringan 150 kV GI New Tarahan - GI Sribawono, generator

mampu menahan gangguan sehingga generator dalam sistem tidak mengalami lepas sinkron. Hal ini dapat terlihat bahwa osilasi sudut rotor akan teredam dan akhirnya setelah beberapa saat akan stabil pada kestabilan sudut rotor yang baru.

Berdasarkan hasil uji kelayakan tecno, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan beroperasinya *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan dapat meningkatkan kualitas dan keandalan pasokan sistem, karena adanya tambahan pasokan daya di sistem Lampung dan memperbaiki tegangan di sistem.
2. Hasil simulasi aliran daya, dengan case sebelum *Cembinded cycle* PLTG MPP Tarahan beroperasi, beberapa ruas transmisi di sistem seperti transmisi Sribawono - Lampung 1, transmisi Sribawono - Seputih Banyak 1,2, transmisi Sribawono – Metro, dan Sribawono - New Tarahan 1,2, menunjukkan nilai losses yang lebih tinggi dari persyaratan nilai *Grid Code* ($>2,5\%$). Sehingga perlu dilakukan penurunan losses antara lain rekonduktoring pada beberapa jaringan transmisi, dimana lingkup pekerjaan ini merupakan domain dari PLN UIT. Dengan beroperasinya *Cembinded cycle* PLTG MPP Tarahan, nilai losses di beberapa ruas transmisi khususnya di GI 150 kV Sribawono – GI 150 kV New Tarahan menjadi turun.
3. Hasil dari simulasi hubung singkat menunjukkan bahwa arus hubung singkat GI di sub sistem Lampung masih berada di bawah *breaking capacity* peralatan gardu induk eksisting pada tahun 2030 setelah *Cembinded cycle* PLTG MPP Tarahan 150 MW terinterkoneksi ke sistem.
4. Hasil dari simulasi dan analisis stabilitas menunjukkan sistem tetap stabil (frekuensi, tegangan dan sudut rotor) saat terjadinya trip 1 blok pembangkit *Cembinded cycle* PLTG MPP Tarahan sebesar 75 MW yang terhubung ke GI 150 kV New Tarahan maupun saat terjadinya fault pada 1 sirkuit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono.
5. Penerapan *cembinded cycle* adalah alternatif evisien dalam penambahan pembangkit untuk subsistem lampung , sebab dari aspek teknis beberapa infrastruktur pendukung di MPP Tarahan sudah ada dan tersedia seperti

4.2.3 Analisis Kelayakan Ekonomi Penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan

Dapat diketahui sebagaimana table yang di dapatkan pada subsitem Hasil dalam penerapan *cembinded cycle*, untuk penerapan menggunakan 2-2-1 yaitu: 2 Gas Turbine, 2 HRSG, dan 1 Steam Turbine, *Cembinded cycle* PLTG MPP Tarahan akan didesain menggunakan konfigurasi 2 blok 2-2-1, dengan setiap blok akan menghasilkan *output* sebesar 75 MW dan Efisiensi sebesar 51,44%, sehingga 2 blok akan menghasilkan *output* sebesar 150 MW.

Berikut perkiraan biaya investasi untuk penerapan *Combined Cycle* PTLG MPP Tarahan

dengan menggunakan konfigurasi 2-2-1 Sebesar 150 MW.

No.	Equipment	Value (USD)
		2 Block
1	<i>Gas Turbine</i>	59.944.235,00
2	<i>Steam Turbine</i>	1.000.199,00
3	<i>Cooling Tower</i>	2.051.443,00
4	<i>HRSG and Aux</i>	26.612.382,00
5	<i>BOP Mechanical</i>	25.045.116,74
6	<i>BOP Electrical</i>	3.249.887,79
7	<i>Instrument and Control</i>	6.358.328,28
8	<i>Civil Work</i>	28.366.578,54
Total		152.628.170
USD/kW		16.000
Total (Rupiah)		Rp. 2.442.050.725.600

Tabel 4. 16 Perkiraan harga kebutuhan barang

Dalam perhitungan perkiraan nilai investasi ini berdasarkan perkiraan harga sesuai referensi dan menyesuaikan dengan kapasitas dari Kw dari rencana Gas turbine yang di gunakan, dalam perhitungan yang diberikan yaitu nilai kapasitas maksimal 200 MW , dan dibagi dengan kapasitas konfigurasi sebesar 150 MW . Dengan asumsi menghasilkan Listrik sebanyak 459.900.000 kWh/Tahun.

Sehingga dapat diketahui :

Asumsi	Nilai	Keterangan
Kenaikan Tarif Listrik	Rp.1.153	Bertambah 1% setiap Tahun
Production (kWh/tahun)	459.900.000	Untuk penambahan CC
Heat Rate (kcal/kWh)	1.765	NPHR (6,998 BTU/kWh
Gas Price (USD/MMBtu)	3,20	Hendry Hub CY 2022
USD/IDR	16.000	Nilai 2024
Pemeliharaan (Rp/kW-tahun)	Rp 26,05	Statistik PLN 2024
Kepegawaian (Rp/kW-tahun)	Rp 16,72	Statistik PLN 2024
Administrasi (Rp/kW-tahun)	Rp 44,76	Statistik PLN 2024
Kapasitas (kW)	75.000	Skenario masing 1 BLOK
WACC	7,38 %	Devisi keuangan PT PLN Persero
Umur proyek (tahun)	30	
CAPEX (Rp) (Year-0)	Rp 2.442.050.725.600	Nilai investasi awal 1 blok

Tabel 4. 17 Tabel Nilai Cost Estimate Penerapan Combined Cycle

Berdasarkan perhitungan perkiraan *cost* yang akan dikeluarkan berikut Adalah perhitungan arus kas bersih pendapatan Perusahaan setelah melakukan penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP tarahan, Dimana tahun 0 adalah 2023, dan tahun pertama Adalah 2024.

T H N	Produc tion (kWh)	Tarif (Rp/ kWh)	TotalRev enue (Rp)	Bahan Bakar (Rp)	Pemelih araan (Rp)	Kepega waian (Rp)	Adminis trasi (Rp)	TotalCos t (Rp)	Cash In (Rp)	Cash Out (Rp)	Dis c Fac tor	PV Cash In (Rp)	PV Cash Out (Rp)	Net Present Value (Rp)	Net Cash Flow (Rp)	Cum Net CF
K E T	2	3	4=2×3	5	6	7	8	9=5+6+7 +8	10=4-9	11	12	13=10×1 2	14=11×1 2	15=13-1 4	16=10-1 1	Cum(16)
0	0		-	-	-	-	-	-	-	2.442.05 0.725.60 0	1,0 00 0	-	2.442.05 0.725.60 0	- 2.442.05 0.725.60 0	- 2.442.05 0.725.60 0	- 2.442.05 0.725.60 0
1	459.90 0.000	1.15 3	530.264.7 00.000	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	325.085.27 8.823		0,9 31 3	302.742. 856.047	-	302.742. 856.047	325.085. 278.823	- 2.116.96 5.446.77 7
2	459.90 0.000	1.16 5	535.567.3 47.000	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	330.387.92 5.823		0,8 67 3	286.534. 795.444	-	286.534. 795.444	330.387. 925.823	- 1.786.57 7.520.95 4
3	459.90 0.000	1.17 6	540.923.0 20.470	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	335.743.59 9.293		0,8 07 7	271.167. 441.202	-	271.167. 441.202	335.743. 599.293	- 1.450.83 3.921.66 2
4	459.90 0.000	1.18 8	546.332.2 50.675	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	341.152.82 9.497		0,7 52 2	256.599. 247.911	-	256.599. 247.911	341.152. 829.497	- 1.109.68 1.092.16 4
5	459.90 0.000	1.20 0	551.795.5 73.181	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	346.616.15 2.004		0,7 00 5	242.790. 560.911	-	242.790. 560.911	346.616. 152.004	- 763.064. 940.160
6	459.90 0.000	1.21 2	557.313.5 28.913	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	352.134.10 7.736		0,6 52 3	229.703. 543.654	-	229.703. 543.654	352.134. 107.736	- 410.930. 832.424
7	459.90 0.000	1.22 4	562.886.6 64.202	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	357.707.24 3.025		0,6 07 5	217.302. 106.654	-	217.302. 106.654	357.707. 243.025	- 53.223.5 89.399
8	459.90 0.000	1.23 6	568.515.5 30.844	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	363.336.10 9.667		0,5 65 7	205.551. 838.122	-	205.551. 838.122	363.336. 109.667	310.112. 520.268
9	459.90 0.000	1.24 9	574.200.6 86.153	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	369.021.26 4.976		0,5 26 9	194.419. 936.345	-	194.419. 936.345	369.021. 264.976	679.133. 785.244

1 0	459.90 0.000	1.26 1	579.942.6 93.014	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	374.763.27 1.837		0,4 90 6	183.875. 143.891	-	183.875. 143.891	374.763. 271.837	1.053.89 7.057.08 1
1 1	459.90 0.000	1.27 4	585.742.1 19.945	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	380.562.69 8.767		0,4 56 9	173.887. 683.662	-	173.887. 683.662	380.562. 698.767	1.434.45 9.755.84 8
1 2	459.90 0.000	1.28 6	591.599.5 41.144	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	386.420.11 9.967		0,4 25 5	164.429. 196.842	-	164.429. 196.842	386.420. 119.967	1.820.87 9.875.81 5
1 3	459.90 0.000	1.29 9	597.515.5 36.555	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	392.336.11 5.378		0,3 96 3	155.472. 682.743	-	155.472. 682.743	392.336. 115.378	2.213.21 5.991.19 3
1 4	459.90 0.000	1.31 2	603.490.6 91.921	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	398.311.27 0.744		0,3 69 0	146.992. 440.579	-	146.992. 440.579	398.311. 270.744	2.611.52 7.261.93 7
1 5	459.90 0.000	1.32 5	609.525.5 98.840	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	404.346.17 7.663		0,3 43 7	138.964. 013.143	-	138.964. 013.143	404.346. 177.663	3.015.87 3.439.60 0
1 6	459.90 0.000	1.33 9	615.620.8 54.829	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	410.441.43 3.651		0,3 20 1	131.364. 132.407	-	131.364. 132.407	410.441. 433.651	3.426.31 4.873.25 1
1 7	459.90 0.000	1.35 2	621.777.0 63.377	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	416.597.64 2.200		0,2 98 1	124.170. 666.999	-	124.170. 666.999	416.597. 642.200	3.842.91 2.515.45 1
1 8	459.90 0.000	1.36 6	627.994.8 34.011	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	422.815.41 2.833		0,2 77 6	117.362. 571.571	-	117.362. 571.571	422.815. 412.833	4.265.72 7.928.28 4
1 9	459.90 0.000	1.37 9	634.274.7 82.351	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	429.095.36 1.174		0,2 58 5	110.919. 837.999	-	110.919. 837.999	429.095. 361.174	4.694.82 3.289.45 8
2 0	459.90 0.000	1.39 3	640.617.5 30.174	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	435.438.10 8.997		0,2 40 7	104.823. 448.412	-	104.823. 448.412	435.438. 108.997	5.130.26 1.398.45 5
2 1	459.90 0.000	1.40 7	647.023.7 05.476	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	441.844.28 4.299		0,2 24 2	99.055.3 30.000	-	99.055.3 30.000	441.844. 284.299	5.572.10 5.682.75 4
2 2	459.90 0.000	1.42 1	653.493.9 42.531	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	448.314.52 1.354		0,2 08 8	93.598.3 11.570	-	93.598.3 11.570	448.314. 521.354	6.020.42 0.204.10 7
2 3	459.90 0.000	1.43 5	660.028.8 81.956	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	454.849.46 0.779		0,1 94 4	88.436.0 81.809	-	88.436.0 81.809	454.849. 460.779	6.475.26 9.664.88 6

24	459.90 0.000	1.45 0	666.629.1 70.776	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	461.449.74 9.598		0,1 81 1	83.553.1 49.216	-	83.553.1 49.216	461.449. 749.598	6.936.71 9.414.48 4
25	459.90 0.000	1.46 4	673.295.4 62.483	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	468.116.04 1.306		0,1 68 6	78.934.8 03.653	-	78.934.8 03.653	468.116. 041.306	7.404.83 5.455.79 1
26	459.90 0.000	1.47 9	680.028.4 17.108	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	474.848.99 5.931		0,1 57 0	74.567.0 79.484	-	74.567.0 79.484	474.848. 995.931	7.879.68 4.451.72 1
27	459.90 0.000	1.49 3	686.828.7 01.279	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	481.649.28 0.102		0,1 46 2	70.436.7 20.232	-	70.436.7 20.232	481.649. 280.102	8.361.33 3.731.82 4
28	459.90 0.000	1.50 8	693.696.9 88.292	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	488.517.56 7.115		0,1 36 2	66.531.1 44.741	-	66.531.1 44.741	488.517. 567.115	8.849.85 1.298.93 8
29	459.90 0.000	1.52 3	700.633.9 58.175	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	495.454.53 6.998		0,1 26 8	62.838.4 14.769	-	62.838.4 14.769	495.454. 536.998	9.345.30 5.835.93 6
30	459.90 0.000	1.53 9	707.640.2 97.757	164.924. 374.177	11.980. 395.000	7.689.5 28.000	20.585. 124.000	205.179. 421.177	502.460.87 6.580		0,1 18 1	59.347.2 03.975	-	59.347.2 03.975	502.460. 876.580	9.847.76 6.712.51 6
J M L	13.797. 000.00 0		18.445.20 0.073.433	4.947.73 1.225.31 7	359.411 .850.00 0	230.685 .840.00 0	617.553 .720.00 0	6.155.38 2.635.31 7	12.289.817 .438.115,7 0			4.536.37 2.383.98 7	2.442.05 0.725.60 0	2.094.32 1.658.38 7	Rp 9.847.76 6.712.51 6	

Tabel 4. 18 Arus kas penerapan Combined Cycle

Dalam penelitian ini, untuk menentukan analisis kelayakan ekonomi saya menggunakan 4 jenis analisis data, berikut hasil dari analisis data yang dilakukan:

Indikator	Nilai	Interpretasi
<i>Net Present Value</i>	Rp 2.094.321.658.387	Sangat layak > 0
<i>Internal Rate Of Return</i>	14,52%	Sangat menguntungkan
<i>Profitabilty Index</i>	1,858	Layak >1
<i>Payback Period</i>	7,51	Modal Bisa kembali < 7 Tahun

Tabel 4. 19 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi

Dari tabel hasil uji kelayakan ekonomi, terlihat bahwa proyek ini layak dan menguntungkan jika dilihat dari empat indikator utama: PP, NPV, PI, dan IRR. Keempat indikator ini saling melengkapi untuk menilai apakah investasi ini “masuk akal” dijalankan atau tidak.

1) *Net Present Value* (NPV) = Rp 2.094.321.658.387 (positif)

NPV ini menunjukkan “nilai keuntungan bersih” proyek setelah dihitung dengan mempertimbangkan nilai uang dari waktu ke waktu (uang sekarang lebih berharga daripada uang di masa depan). Karena NPV bernilai positif dan cukup besar, berarti secara total, penerimaan proyek lebih besar daripada pengeluaran, sehingga proyek memberi tambahan nilai dan secara finansial layak dijalankan.

2) *Profitability Index* (PI) = 1,858 (> 1)

PI bisa dipahami sebagai perbandingan “manfaat” dibanding “biaya”. Nilai 1,858 berarti: setiap Rp 1 biaya yang dikeluarkan akan menghasilkan sekitar Rp 1,858 manfaat (dalam nilai sekarang). Karena PI lebih

3) *Internal Rate of Return* (IRR) = 14,52%

IRR adalah perkiraan tingkat keuntungan proyek per tahun. Semakin besar IRR, semakin menarik proyeknya. Umumnya, proyek dinilai bagus bila IRR lebih tinggi dari biaya modal/tingkat diskonto (misalnya WACC). Jadi, IRR 14,52% menunjukkan proyek ini cukup menguntungkan, apalagi jika biaya modalnya berada di bawah angka tersebut.

4) *Payback Period* (PP) = 7,51 tahun ($\pm$ 7 tahun)

Artinya, modal awal proyek bisa kembali sekitar 7 tahun sejak proyek berjalan. Dengan kata lain, setelah lewat waktu tersebut, proyek mulai masuk tahap “menghasilkan” karena biaya investasi awal sudah tertutup. Untuk proyek pembangkit yang umumnya berumur panjang, PP sekitar 7 tahun masih tergolong cukup baik karena tidak terlalu lama menunggu balik modal. Yang Dimana tahun 0 mulai di 2023, dan tahun pertama yaitu di 2024 yang berarti pada tahun 2030 adalah waktu payback nya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun Kesimpulan yang dapat diberikan penulis terkait penelitian yang dilakukan yaitu ;

1. Rencana peningkatan GT MPP Tarahan menjadi pembangkit *combined cycle* bertujuan untuk menjaga eksistensi aset PLN Batam GT MPP di lokasi saat ini, meningkatkan performa pembangkit, khususnya *power output* dan efisiensi sehingga diharapkan dapat meningkatkan posisi merit order sistem *dispatch* di sistem kelistrikan Sumatera Bagian Selatan. Tarahan *combined cycle* merupakan pembangkit yang fast respon dan dilengkapi dengan fasilitas Black Start sehingga akan memberikan kontribusi yang cukup signifikan untuk meningkatkan keandalan dan kualitas sistem kelistrikan di Lampung, konseptual penerapan *combined cycle* adalah 2 blok yaitu dengan konfigurasi 2-2-1, dengan masing masing blok memiliki output 75 MW dengan total maksimal kapasitas 150 MW.
2. Hasil dari simulasi hubung singkat menunjukkan bahwa arus hubung singkat GI di sub sistem Lampung masih berada di bawah *breaking capacity* peralatan gardu induk eksisting pada tahun 2030 setelah *Combined cycle* PLTG MPP Tarahan 150 MW terinterkoneksi ke sistem. Hasil dari simulasi dan analisis stabilitas menunjukkan sistem tetap stabil (frekuensi, tegangan dan sudut rotor) saat terjadinya trip 1 blok pembangkit *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan sebesar 75 MW yang terhubung ke GI 150 kV New Tarahan maupun saat terjadinya fault pada 1 sirkuit 150 kV GI New Tarahan – GI Sribawono, sehingga Hasil Uji Kelayakan penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan berdasarkan Analisa Aliran Daya dan Analisa *Stabilitas Transient* dapat dikategorikan Layak secara teknis
3. Hasil Uji Kelayakan penerapan *Combined Cycle* PLTG MPP Tarahan berdasarkan Nilai NVP sebesar Rp.2.094.321.658.387, nilai IRR nya adalah 14,52 %, nilai Profitabilty Index nya yaitu 1,858 dan nilai Payback Period sebesar 7,51 ($\pm$ 7 Tahun), dapat dikategorikan Layak secara ekonomi.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis terkait penelitian yang dilakukan yaitu ;

1. Perlunya meningkatkan Kajian rencana pengembangan GT MPP Tarahan menjadi pembangkit *combined cycle* seperti kajian *Pre-FS* sehingga untuk atau jika memungkinkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam pertimbangan kelayakan teknis dan keekonomian perlu ditingkatkan menjadi kajian FS.
2. Perlu di tingkatkan untuk pembahasan lebih lanjut mengenai kajian Pembangkit terkhusus mengenai konfigurasi pembilahan blok, Metode *combined cycle*, dan analisis bisa menggunakan aplikasi GT Pro.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. m. s. Atthariq, "PERFORMANCE TEST OF GAS TURBINE PART OF THE *COMBINED CYCLE*," *Sains dan Teknologi Indonesia*, pp. 101-108, 2012.
- [2] R. Nur, ""TINJAUAN SINGKAT SISTEM PLTP SIKLUS GABUNGAN SARULLA MENGGUNAKAN FORMAT *ENERGY CONVERTER*"," *Jurnal mineral energy dan lingkungan*, p. VOL 6 NO 2 , 2022.
- [3] N. L. D. PO Abas sunarya, ""ANALISA EFISIENSI DAN PEMANFAATAN GAS BUANG TURBIN GAS ALSTHOM PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS KAPASITAS 20 MW"," *Jurnal Sains,Teknologi dan Industri Vol 14 no 2*, p. 210, 2017.
- [4] J. syarief, "PERENCANAAN TURBIN UAP UNTUK SIKLUS GABUNGAN," *Jurnla PN Lhokseumawe*, pp. 1-8, 2014.
- [5] S. N. D. H. Nurmiah, "Analisis efisisensi siklus *combined cycle power plant* (CCPP) Gas turbine generato terhadap beban operasi PT Kratau Daya Listrik," *Bidang ilmu adminstrasi,akuntansi, bisnis, dan humaniora vol 987-602-60766-4-0*, vol. 4, no. 1, pp. 149-154, 2018.
- [6] A. R. V. J. Umar Faruq, "Analisa Aliran Daya pada sistem tenaga listrik menggunakan ETAP 12.6," *Sain ,Energi, Teknologi & Industri*, vol. 6 NO.1, no. ISSN 2548-6888, pp. 16-22, 2021.
- [7] G. T. L. K. m. Zhida Deng, "Modelling Renewable *Energy* sources for harmonic assessments in DIgSILENT Powerfactory:Comparison of different Approaches," *Science and Techonology Publication*, no. ISBN : 978-989-758-528-9, pp. 130-140, 2021.
- [8] A. Assagaf, "Analisis factor yang memengaruhi permintaan tenaga listrik konsumen sektor social PT Perusahaan Listrik Negara (persero)," *Junal Ekonomika*, Vols. 4, No. 2, no. ISSN 1978-998, pp. 39-44, 2011.
- [9] N. P. A. R. Roswati Nurhasanah, "Analisis perbandingan unjuk kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran HFC R-134A dan Hidrokarbon MC-134," *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII* , no. ISBN 9789798510618, pp. 123-128, 2013.
- [10] P. K. E. P. Pawenary, "Analisa Studi Kelayakan Pembangunan PLTS 10 kWp di Graha YPK PLN," *Teknik Elektro Institut Teknologi PLN*, vol. 13 NO 03, no. e-ISSN: 2621-8534, pp. 160-165, 2022.
- [11] J. K. d. A. a. G. Kartika, "Analisis Kelayakan Ekonomi dan Finansial Pembangunan Jalan Tol Mengwi-Gilimanuk," *Teknik ITS*, vol. 10 NO 2, no. ISSN: 2337-3539, pp. E253-E258, 2021.
- [12] I. Fisher, *The Teory of Interest*, New York: Macmillan, 1930.

- [13] m. & a. Brealey, Principles of corporate Finance, New York: McGraw-Hill, 2020.
- [14] Dean.J., Capital Budgeting, Columbia : Columbia University Press, 1951.
- [15] E. Solomon, "The Arithmetic of capital Budgeting Decisions," *Journal of Business*, vol. 2, p. 29 , 1956.
- [16] J. Dean, Capital Budgeting, Kolombia: COLUMBIA UNIVERSITY PRESS, 1951.
- [17] P. P. (. T. Jakarta, Design Report / *Study*: Geotechnical Investigation-Preliminary Report-R-0 Tarahan Mobile PP pROJECT 500mw-Tarahan Lampung, Indonesia: Design Report / *Study* , 2016.
- [18] P. P. PERSERO, Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025-2034, Indonesia: ESDM, 2025.
- [19] M. H. & B. Moran, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Amerika Serikat: American Psychological Association , 2018.
- [20] W. J. M. Rankine, A Manual of the Steam Engine and Other Prime Movers, Amerika Serikat: American Psychological Association,, 1859.
- [21] R. H. W. J. N. H. & R. T. Kehlhofer, Combined-Cycle Gas & Steam Turbine *Power plants* (3rd ed.), Amerika Serikat: PennWell Books, 2009.
- [22] K. E. d. S. D. Mineral, edoman Teknis Studi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak DIgSILENT PowerFactory., Indonesia: Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan., 2020.
- [23] K. E. d. S. D. M. (KESDM), Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 20 Tahun 2020 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code), Indonesia: Kementerian ESDM Republik Indonesia, 2020.
- [24] T. & V. C. Van Cutsem, Voltage Stability of Electric Power *Systems*, Amerika Serikat: Springer., 1998.
- [25] P. S. T. Terapan, "PRE FEASIBILITY *STUDY CEMBINED CYCLE* PLTG MPP TARAHAH," PT SENTRA TEKNOLOGI TERAPAN , INDONESIA, 2025.
- [26] A. Damodaran, "Return on capital (ROC), return on invested capital (ROIC) and return on equity (ROE);," *Measurement and implications*, no. EBIT, pp. 1-t, 2007 .
- [27] B. R. T. R. Indonesia. [Online]. Available: <https://gistaru.atrbpn.go.id/rtronline/>.
- [28] P. P. BATAM, Interviewee, *Site Survey PT Sentra Teknologi Terapan*. [Interview]. 2 Maret 2025.
- [29] P. S. T. Terapan, "Final Report Fre Feasibility *Study Cembined cycle*," PT STT, Indonesia,

2025.

- [30] H. Hub, "Gas Price," Bloomberg, CSI, NGI calculation, 2022 .
- [31] H. f. siswoyo, "Elektra, vol 1 no 2," *Analisa Penurunan Tegangan (voltage drop) dan rugi-rugi (losses) penyulang menggunakan ETAP di Gardu Iduk Bandung selatan*, pp. 1-40, 2016.
- [32] D. Y. S. F. Hermanto, "JOM FTEKNIK Volume 4 no 1," "*Perbaikan Jatuh Tegangan pada Feeder Jaringan Distribusi Tegangan Manengah 20 Kv Teluk Kuantan*", pp. 1-7, 2017.
- [33] d. Suswanto, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik," *Edisi pertama, Fakultas Teknik UNP*, pp. 1-9, 2009.
- [34] d. Suhadi, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*, Jakarta: Direktorat pembinaan sekolah menengah kejuruan, 2008.
- [35] D. Suswanto, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi Pertama*, Padang: Fakultas Teknik UNP, 2009.
- [36] P. (Persero), *Kriteria Disain Enjinering Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, Jakarta Selatan: PT.PLN PERSERO, 2010.
- [37] F. S. Hadisantoso, "Analisa Penurunan Tegangan (Voltage drop) dan Rugi-rugi (losses) penyulang menggunakan ETAP di," *Jurnal politeknik Enjinering Indorama*, vol. 1, no. 1, pp. 1-10, 2016.
- [38] Ir.Djiteng, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta: Graha Ilmu, 2016.
- [39] M. Masalan, Interviewee, *Dampak simulasi Manuver penyulang pada beban*. [Interview]. 12 April 2021.
- [40] C. G. V. H. M. Sirojjiddin R, "Structur Analysis Of Power Losses in (6-10/0,4 kV Urban Distribusion Electric Neteorks Of the city of Dushanbe, The Republic of TaJIKISTAN," *IEEE*, vol. 1, no. 978-7281-0339-6/19, pp. 1-10, 2019.
- [41] A. Tanjung, "Analisa Sistem Distribusi 20 kV untuk memperbaiki Kinerja Sistem Distribusi menggunakan Electrical Transient analysis program," *ISSN*, vol. SNTKI 4, no. 2085-9902, pp. 1-10, 2012.
- [42] G. T. L. K. d. M. M. Zhida Deng, "Modelling Renewable *Energy* Sources for Harmonic Assessments in Digsilent PowerFactory; Comparison of Different Approaches," *ISBN : 978-989-758-528-9*, vol. 1, no. NO 1, pp. 130-140 , 2021.
- [43] C. Widyastuti, *Analisa Interkoneksi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan DIgSILENT PowerFactory.*, Indonesia: Jurnal SUTET, 11(2), 101–108, 2021.

RIWAYAT HIDUP



Data Personal

NIM : 202210016
Nama : Fadhillah Ainun Auliya
Jenis Kelamin : Perempuan
Status Perkawinan : Belum Menikah
Program Studi : S2 Teknik Elektro
Alamat Rumah : Bassiu RT/RW 001/001 ,Gunturu Kec.Herlang ,Kab.Bulukumba,
Sulawesi Selatan
Kode Pos : 92573
Telp / Hp : 082344017880
Email : fadhillah2210016@itpln.ac.id

Pendidikan

Jenjang	Nama Lembaga	Jurusan	Tahun Lulus
SD	SDN 117 Centre	-	2011
SMP	SMPN 24 Bulukumba	-	2014
SMA	SMAN 08 Bulukumba	IPA	2017
S1	Institut Teknologi PLN	S1 Teknik Elektro	2021

Demikianlah daftar riwayat hidup ini dibuat dengan sebenarnya.

Jakarta, 18 Februari 2026

(Fadhillah Ainun Auliya)

LEMBAR PERBAIKAN

1. Ketua Penguji

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-008
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke	3

PERSIAKAN NASKAH TESIS

Tanggal Ujian Sidang : 14 FEBRUARI 2025
 Nama Mahasiswa : FACHILLAH AINUN AULIYA
 NIM : 2022-10-018
 Program Studi : S2 TEKNIK ELEKTRO
 Fakultas / Sekolah : SEKOLAH PASCASARJANA
 Judul Tugas Akhir : ANALISIS KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMI PENERAPAN SISTEM COMBINED CYCLE PADA PLTG MPP TARAHAN LAMPUNG

Saran Perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut :
 WACC yang digunakan oleh PLN dan SH untuk proyek pembangkit adalah dikisaran 9%

Jangka waktu untuk perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal **21 Februari 2025**

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tesisnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang

Mahasiswa  FACHILLAH AINUN AULIYA	Dosen Pembimbing  Prof. Dr. Dr. Amrullah Assagaf, SE., MS., MM., M.Ak	Ketua Penguji  Dr. Tri Wahyu Adh, SE., MM., CRGP., CAFG
Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal <u>10 FEBRUARI 2025</u>		

Mahasiswa  FACHILLAH AINUN AULIYA	Dosen Pembimbing  Prof. Dr. Dr. Amrullah Assagaf, SE., MS., MM., M.Ak	Ketua Penguji  Dr. Tri Wahyu Adh, SE., MM., CRGP., CAFG
--	--	--

2. Anggota Penguji

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-008
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke -	3

PERBAIKAN NASKAH TESIS

Tanggal Ujian Sidang : 14 FEBRUARI 2026
 Nama Mahasiswa : FADHILLAH AINUN AULIYA
 NIM : 2022-10-016
 Program Studi : S2 TEKNIK ELEKTRO
 Fakultas / Sekolah : SEKOLAH PASCASARJANA
 Judul Tugas Akhir : ANALISIS KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMI PENERAPAN SISTEM COMBINED CYCLE PADA PLTG MPP TARAHAH LAMPUNG

Saran Perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. Rumusan masalah, tujuan, dan kesimpulan tidak sinkron. Jumlah harus sama.
2. Diperjelas lingkup dan batasan, bisa dihilangkan informasi yang tidak perlu
3. Bisa dijelaskan kenapa harus combined cycle, dan kenapa tidak membuat pembangkit baru misal pembangkit EBT
4. Bisa dijelaskan melalui SWOT analysis dan dampak ekonomi, sosial, politik yang mungkin muncul akibat implementasi combined cycle

Jangka waktu untuk perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal **21 Februari 2026**

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tesisnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang

Mahasiswa



FADHILLAH AINUN AULIYA

Anggota Penguji



Farid Wijaya., ST., Ph.D

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal 17 Februari 2026

Mahasiswa



FADHILLAH AINUN AULIYA

Anggota Penguji



Farid Wijaya., ST., Ph.D

3. Anggota Penguji/Pembimbing

	INSTITUT TEKNOLOGI PLN	Kode	FO-PD-A03-2-003-3-008
		Tanggal	10 Februari 2025
	NILAI SIDANG TUGAS AKHIR	Level	2
		Revisi ke -	3

PERBAIKAN NASKAH TESIS

Tanggal Ujian Sidang : 14 FEBRUARI 2025
 Nama Mahasiswa : FADHILLAH AINUN AULIYA
 NIM : 2022-10-018
 Program Studi : S2 TEKNIK ELEKTRO
 Fakultas / Sekolah : SEKOLAH PASCASARJANA

Judul Tugas Akhir : ANALISIS KELAYAKAN TEKNIS DAN EKONOMI PENERAPAN SISTEM COMBINED CYCLE PADA PLTG MPP TARAHAH LAMPUNG

Saran Perbaikan naskah tugas akhir adalah sebagai berikut :

- Mohon untuk mengikuti saran penguji

Jangka waktu untuk perbaikan naskah tugas akhir diatas harus diselesaikan paling lambat satu minggu setelah tanggal ujian yakni pada tanggal **21 Februari 2025**

Apabila dalam jangka waktu tersebut mahasiswa tersebut diatas tidak dapat menyelesaikan **REVISI tesisnya**, maka mahasiswa harus kembali mengulang sidang

Mahasiswa



FADHILLAH AINUN AULIYA

Tugas akhir telah selesai diperbaiki pada tanggal 10 FEBRUARI 2025

Dosen Pembimbing



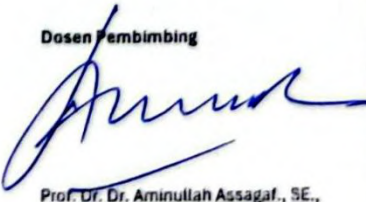
Prof. Dr. Dr. Aminullah Assagaf., SE., MS.,MM.,M.Ak

Mahasiswa



FADHILLAH AINUN AULIYA

Dosen Pembimbing



Prof. Dr. Dr. Aminullah Assagaf., SE., MS.,MM.,M.Ak

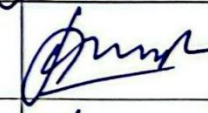
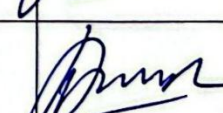
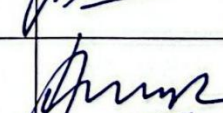
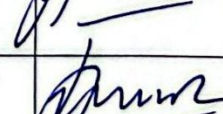
LEMBAR BIMBINGAN

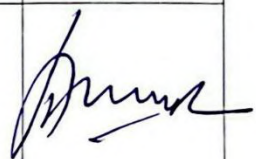
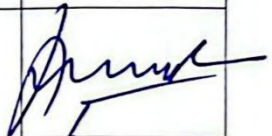
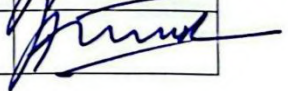


INSTITUT TEKNOLOGI-PLN

LEMBAR BIMBINGAN TESIS

Nama mahasiswa : Fadhillah Ainun Auliya
NIM : 202210016
Program studi : Energi Terbarukan dan Ketenagalistrikan
Nama dosen pembimbing 1 : Prof.Dr.Dr.Aminullah Assagaf,SE.,MS.,MM.,M.Ak
Nama dosen pembimbing 2 : -
Judul tesis : Analisis Kelayakan Teknis dan Ekonomi Penerapan Sistem
Combined Cycle pada PLTG MPP Tarahan Lampung

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Tanda Tangan
1	07 Maret 2024	Penentuan tema tesis	
2	10 April 2024	Revisi Tema tesis	
3	19 September 2024	Revisi Tema tesis	
4	15 Juli 2025	Konsultasi Bab 1 s.d 3	
5	17 Juli 2025	Revisi Bab 1,2, dan 3	
6	18 Juli 2025	Konsultasi Bab 1,2,3	
7	21 Juli 2025	Konsultasi Tema,metode analisis, pengolahan data dan hasil pembahasan	

8	26 September 2025	Konsultasi Tema,metode analisis, pengolahan data dan hasil pembahasan	
9	06 November 2025	Konsultasi Tema,metode analisis, pengolahan data dan hasil pembahasan	
10	22 November 2025	Konsultasi Tema,metode analisis, pengolahan data dan hasil pembahasan	
11	23 November 2025	Konsultasi Tema,metode analisis, pengolahan data dan hasil pembahasan	
12	12 Januari 2026	Konsultasi Hasil dan Pembahasan	
13	19 Januari 2026	Konsultasi Hasil dan Pembahasan	
14	26 Januari 2026	Tanda tangan persexuruan Tesis.	

Keterangan :

1. Konsultasi minimal 12 (dua belas) kali pertemuan termasuk konsultasi Proposal
2. Meliputi : Konsultasi Judul/Tema, Materi, Metode Penyelesaian, Pengujian, Analisis Hasil, Kesimpulan.
3. Setiap Konsultasi lembar ini harus dibawa dan di Paraf oleh Pembimbing.

LAMPIRAN

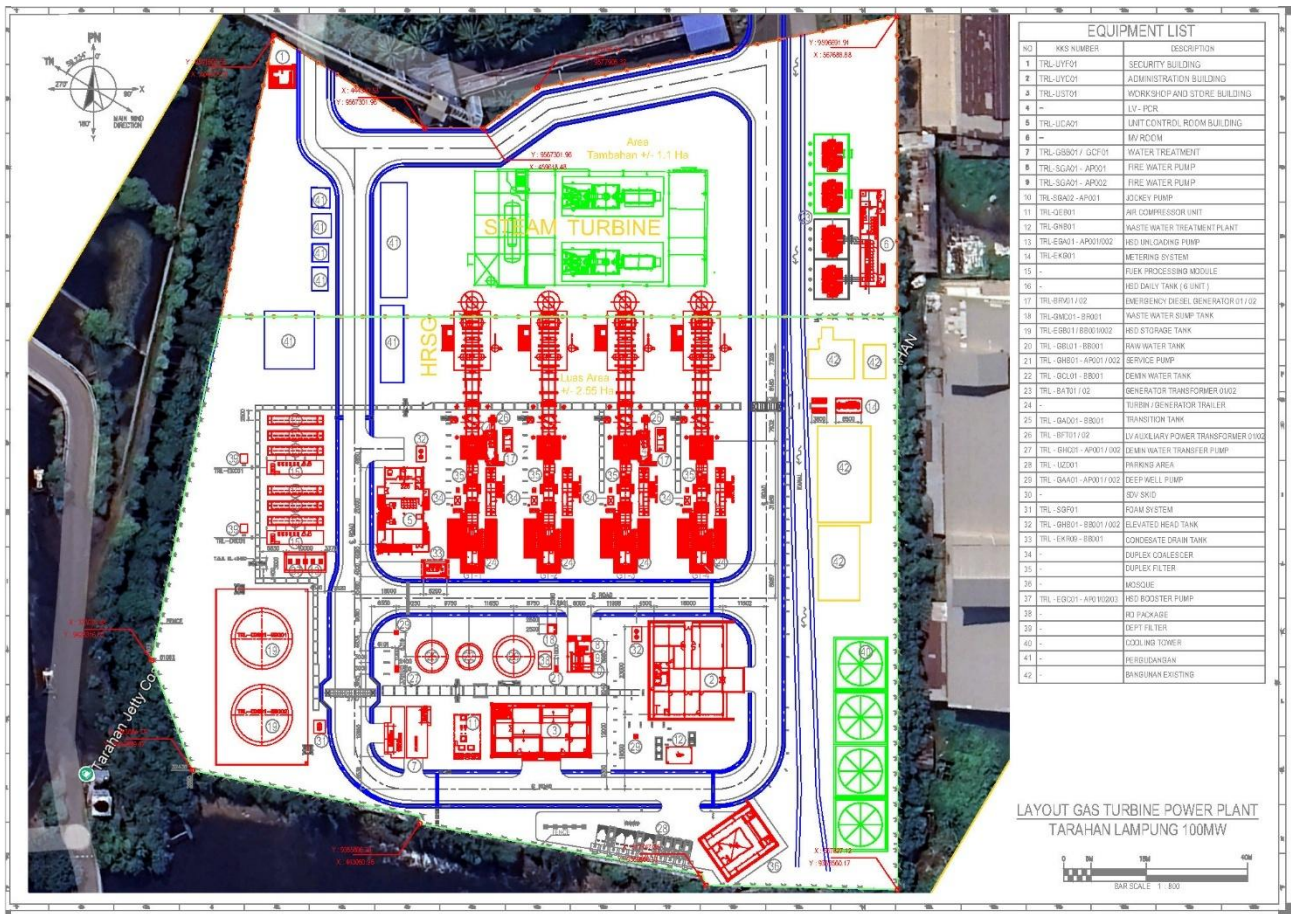
Lamp 1. Foto Survey



Lampiran 1 Foto Survey Daerah Sekitar MPP Tarahan



Lamp 2. Layout CCPP

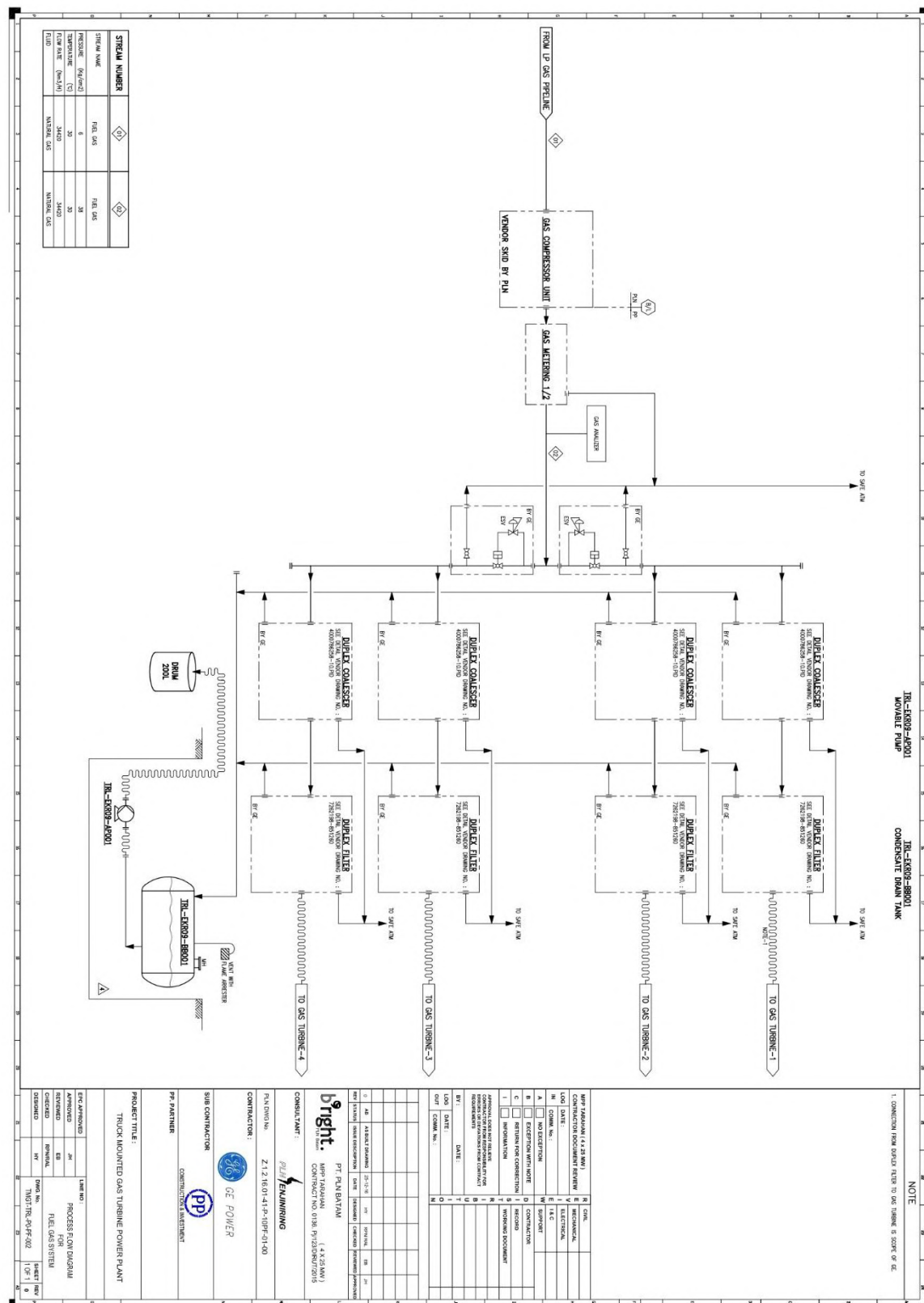


Lampiran 2 Layout CCPP

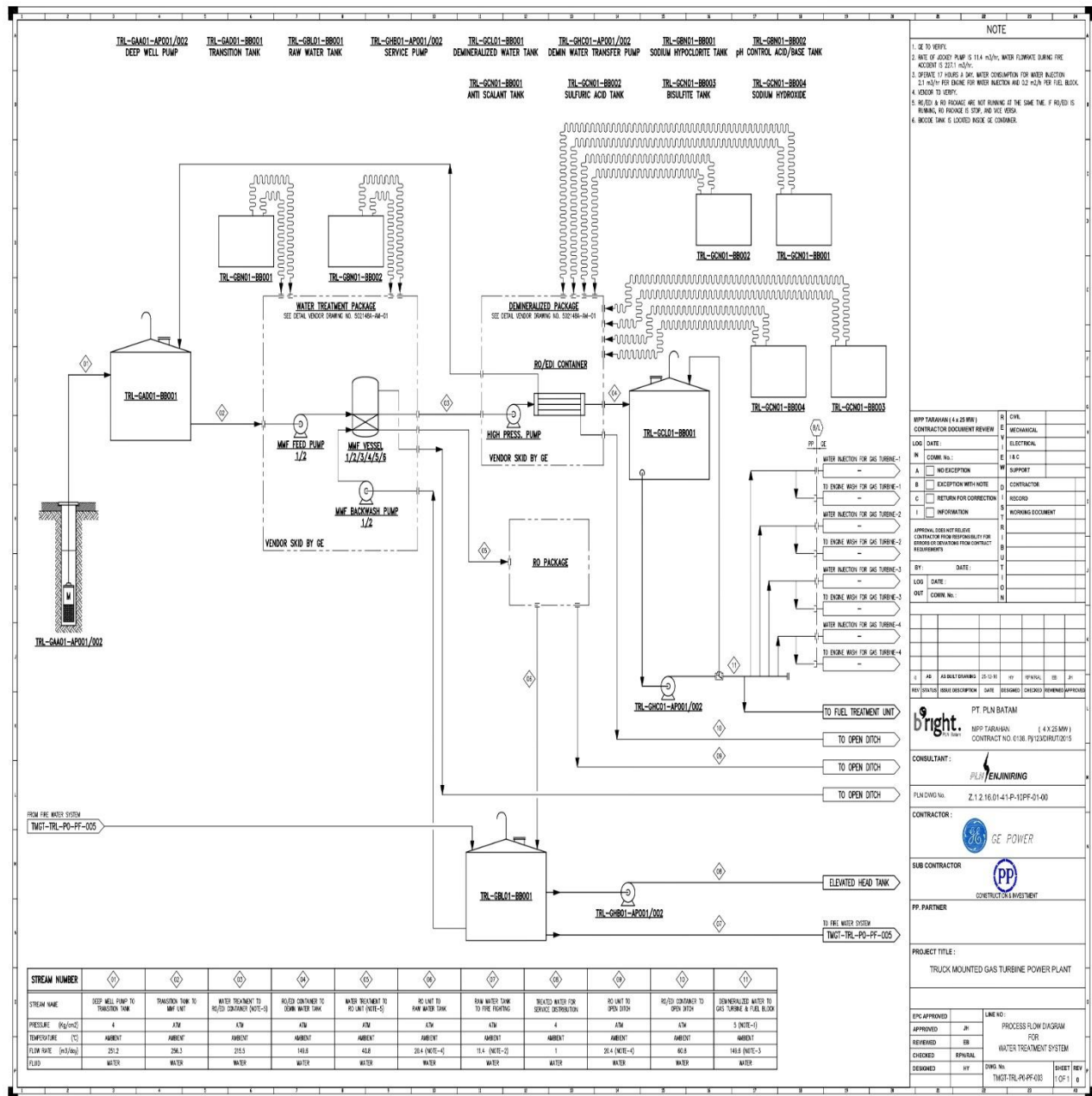
Lampiran 3 HSD System



Lampiran 4 Fuel Gas System



Lamp 5. Water Treatment System

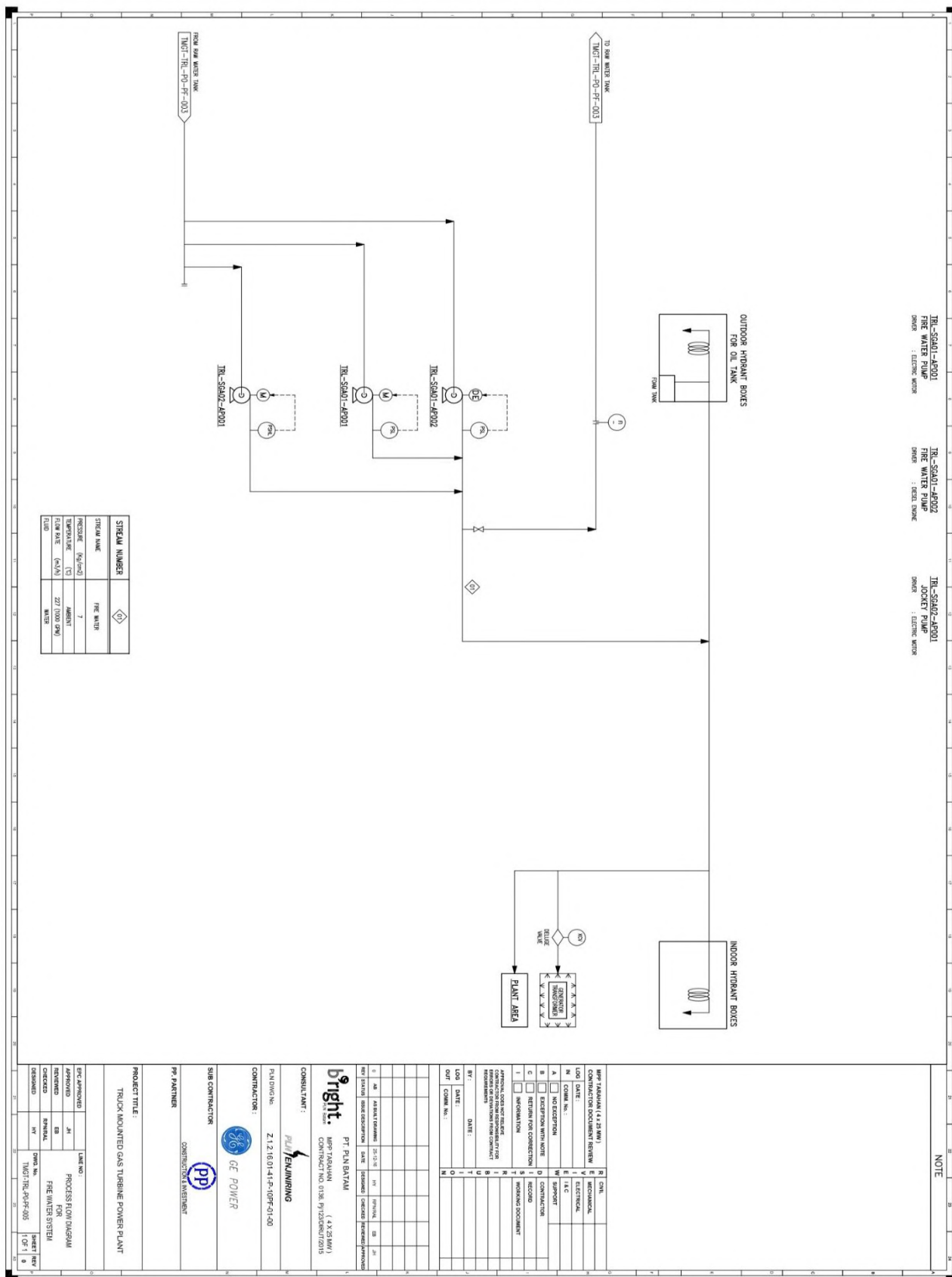


Lampiran 5 Water Treatment System

Lampiran 6 Water Treatment System 2



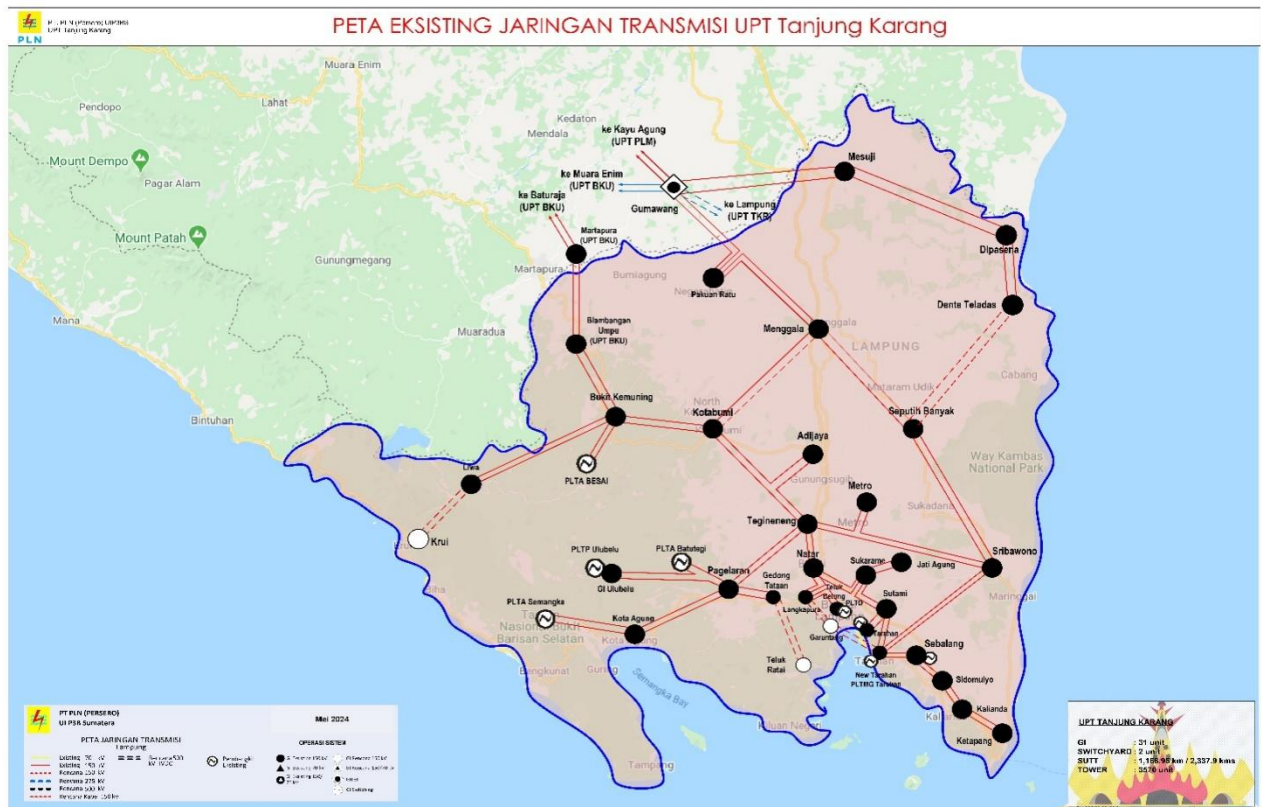
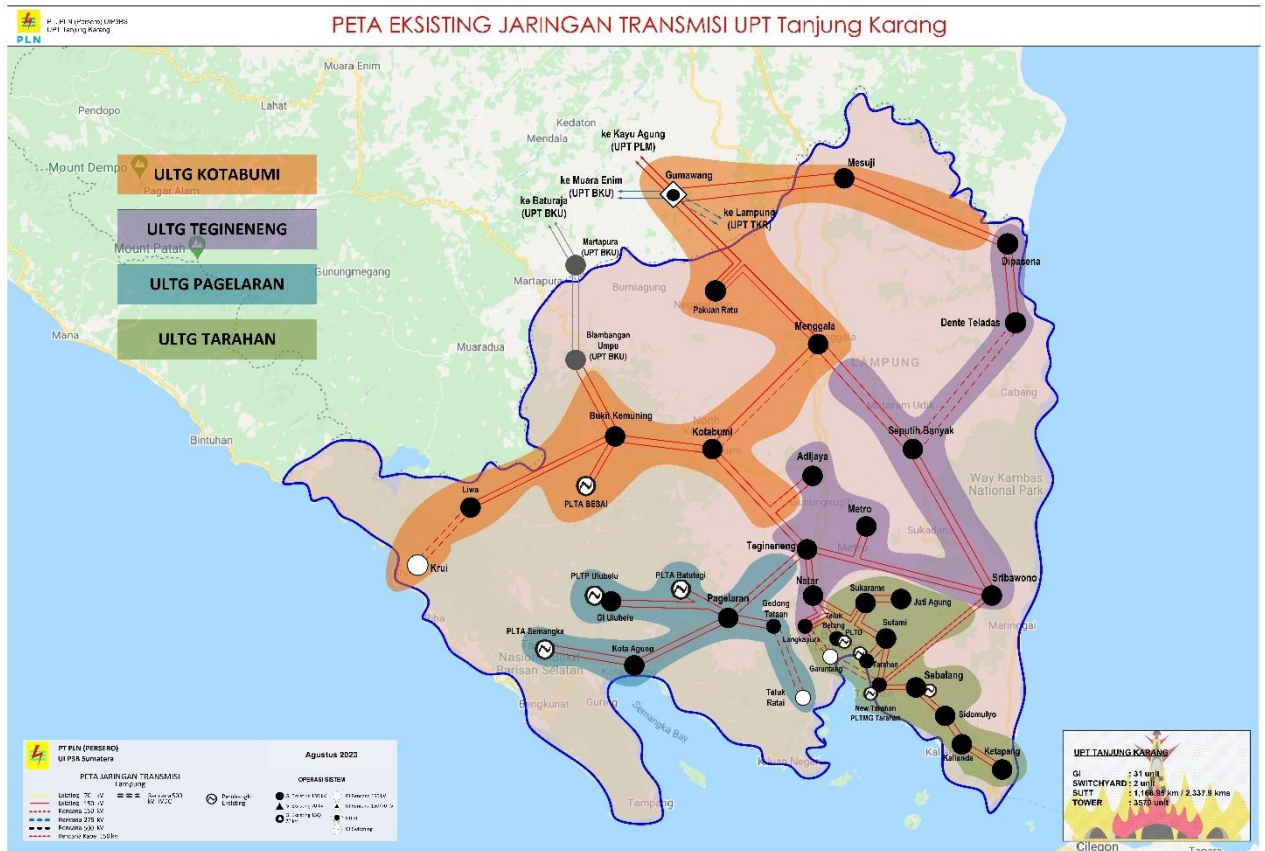
Lamp 7. Fire Water System



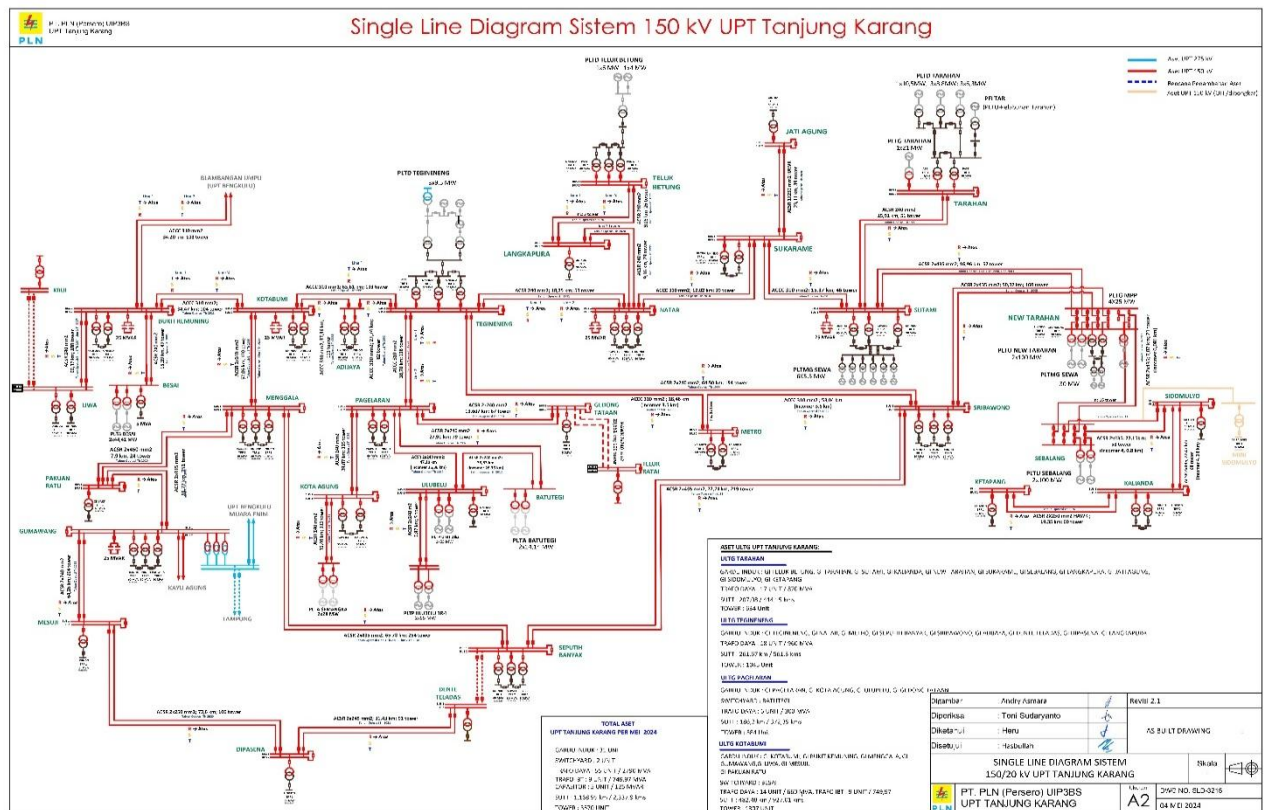
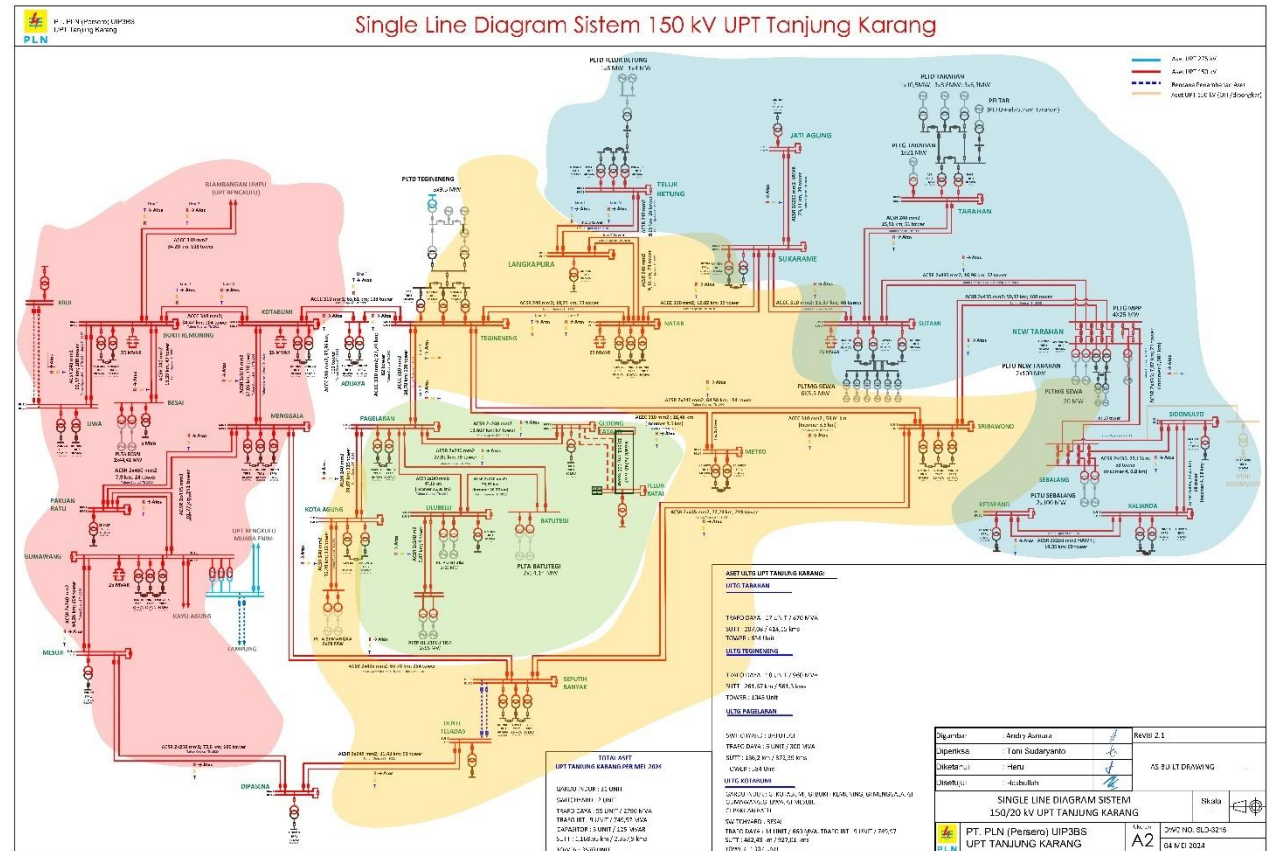
Lampiran 8 Instrumenyt Air System



Lamp 8. SLD



Lampiran 9 SLD



Lamp 9. Hasil Plagiarisme dengan software Turnitin

danielscott54@ntuuu.ac.uk 1

TESIS 202210016 FADHILLAH AINUN AULIYA FIX 2

 BUSI49018/49070

Document Details

Submission ID

trn:oid::2945:345409519

Submission Date

Jan 28, 2026, 5:19 PM GMT+7

Download Date

Jan 28, 2026, 5:25 PM GMT+7

File Name

TESIS 202210016 FADHELLAH AINUN AULIYA FIX 2.pdf

File Size

9.7 MB

114 Pages

20,611 Words

125,501 Characters



Page 1 of 130 - Cover Page

Submission ID trn:oid::2945:345409519



Page 2 of 130 - Integrity Overview

Submission ID trn:oid::2945:345409519

17% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

13%  Internet sources

5%  Publications

14%  Submitted works (Student Papers)

Lampiran 11 Hasil Plagiarisme dengan software Turnitin