

**ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGKIT
GAS TURBINE GENERATOR COGENERATION PLANT
MELALUI ANALISIS TEKNIS, KELAYAKAN INVESTASI
DAN KESESUAIAN BAKU MUTU LINGKUNGAN**



Oleh :

BOY BACHTER P. SIMBOLON

NIM : 1705190002

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2019**

**ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGKIT
GAS TURBINE GENERATOR COGENERATION PLANT
MELALUI ANALISIS TEKNIS, KELAYAKAN INVESTASI
DAN KESESUAIAN BAKU MUTU LINGKUNGAN**



Tesis ini ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan guna
memperoleh gelar Magister Teknik Elektro (M.TE)

BOY BACHTER P. SIMBOLON

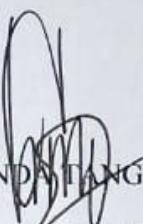
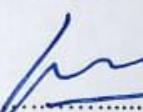
NIM : 1705190002

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2019**

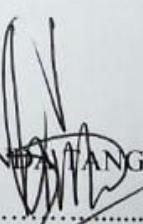
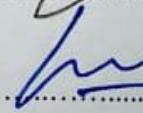


PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

PERSETUJUAN KOMISI PEMBIMBING

N A M A	T A N G G A L	T A N D A T A N G A N
1. Prof. Dr. Ir. Charles O.P. Marpaung, M.S Pembimbing 1	21/01/19 
2. Ir. Bambang Widodo, MT Pembimbing 2	9/01/19 

PERSETUJUAN KOMISI PENGUJI

N A M A	T A N G G A L	T A N D A T A N G A N
1. Prof. Dr. Ir. Charles O.P. Marpaung, M.S.	10/01/19 
2. Ir. Bambang Widodo, M.T.	10/01/19 

Tanggal Lulus : 10 Agustus 2019

Nomor Induk Mahasiswa : 1705190002



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

Lembar Persetujuan dan Pengarsipan
Ke Perpustakan Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia

Mengetahui
Ketua Program Studi
Magister Teknik Elektro

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Togar".

Dr. Togar Harapan Pangaribuan, M.T.

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Boy Bachter P. Simbolon
NIM : 1705190002
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul : Analisis Kelayakan Pembangkit Gas Turbine
Generator Cogeneration Plant Melalui Analisis
Teknis, Kelayakan Investasi dan Kesesuaian Baku
Mutu Lingkungan

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister dari Program Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia (UKI) Jakarta merupakan hasil karya saya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tesis yang saya kutib dari hasil karya orang lain telah ditulis sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tesis ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Jakarta, Agustus 2019



Boy Bachter P. Simbolon

ABSTRAK

ANALISIS KELAYAKAN PEMBANGKIT GAS TURBINE GENERATOR COGENERATION PLANT MELALUI ANALISIS TEKNIS, KELAYAKAN INVESTASI DAN KESESUAIAN BAKU MUTU LINGKUNGAN

Boy Bachter P. Simbolon
Program Magister Teknik Elektro
Universitas Kristen Indonesia
boy.bachter@gmail.com

Perencanaan dan pengelolaan yang baik pada suatu usaha pembangkitan listrik adalah salah satu kunci penting untuk mendapatkan keandalan, kecukupan dan kualitas listrik yang dihasilkan. Dengan perencanaan yang baik tentunya pembangkit yang tersedia harus cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik dan utilitas penunjang di wilayah/industri tersebut. Analisis dan penentuan investasi pada jenis pembangkit akan menjadi faktor penentu kelayakan suatu pembangkit. Keandalan suatu pembangkit terbukti jika tidak terjadi gangguan yang berarti ataupun jika adanya gangguan dapat ditangani dalam waktu singkat. Ketika kita membahas keandalan, tentu tidak akan telaps dari manusia yang mengoperasikannya dan juga bagaimana kemampuan teknis dalam menangani masalah dan juga program apa yang diperlukan untuk menghindari terjadinya gangguan. Perencanaan untuk *back up power* juga merupakan kunci sukses keandalan pasokan. Hal yang lain yang sangat menentukan adalah kualitas listrik itu sendiri, dimana mengingat peralatan industri sangatlah memerlukan kualitas listrik yang baik guna menunjang produksi dan mengurangi *defect* dan *breakdown*. Hal ini akan berdampak signifikan pada perusahaan atau industri pengguna listrik tersebut, dimana operasional yang baik pada sektor usaha industri tentunya akan memberikan produktifitas dan efisiensi yang tinggi. Semua aktifitas diatas harus memenuhi kriteria ramah lingkungan, baik itu dari keluaran gas buang pembangkit dan juga produksi industri tersebut. Hasil Analisis dan Pengujian Data lapangan ditinjau dari aspek teknis, investasi dan kesesuaian baku mutu lingkungan di pembangkit gas turbine cogeneration adalah sangat handal dan menguntungkan sehingga direkomendasikan untuk tetap dioperasikan untuk memenuhi pasokan listrik di kawasan industrial.

Kata kunci: gas turbin, *cogeneration plant*, generator, investasi pembangkit

ABSTRACT

FEASIBILITY STUDY OF GAS TURBINE GENERATOR COGENERATION POWER PLANT TROUGH TECHNICAL ANALYSIS APPROACH, FEASIBILITY OF INVESTMENT AND QUALITY STANDARD COMPLIANCE OF ENVIRONMENTAL

Boy Bachter P. Simbolon
Master Program of Electrical Engineering
Universitas Kristen Indonesia
boy.bachter@gmail.com

Good planning and management in an electricity generation business is one of the important keys to get the reliability, adequacy and quality of the electricity produced. With good planning, of course the availability of power generation must be sufficient to meet the electricity needs and supporting utilities in industrial area. Analysis and determination of investment in the type of plant will be a determining factor for the feasibility of a power plant. The reliability of a generation is proven if there is no significant interference or if there is interference still can be handled in a very short time. When we discuss reliability, it certainly will not be separated from the people who operate it and also how the technical capability in handling problems and also what programs are needed to avoid disruption. Planning for back up power is also the key to successful supply reliability. Another thing that is very decisive is the quality of electricity itself, which is given that industrial equipment is in need of good quality electricity to support production and reduce defects and breakdowns. This will have a significant impact on the electricity user or industry, where good operations in the industrial business sector will certainly provide high productivity and efficiency. All of the above activities must meet the environmentally friendly criteria, both from the exhaust gas output of the plant and also the industrial production. Results of Analysis and Testing Field data in terms of technical aspects, investment and conformity of environmental quality standards in the turbine cogeneration gas plant are very reliable and profitable so it is recommended to continue to operate to supply the electricity in the industrial area.

Keywords: *gas turbine, cogeneration plant, generator, power plant investment*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa sehingga saya dapat menyelesaikan Tesis ini sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Tesis saya berjudul “ Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Gas Turbine Generator Cogeneration Melalui Analisis Teknis, Kelayakan Investasi Dan Kesesuaian Baku Mutu Lingkungan “ sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia. Banyak tantangan yang dihadapi baik dalam persiapan, pelaksanaan, maupun penyusunan Tesis ini, namun berkat kerja keras dan bantuan dari berbagai pihak baik dukungan moral maupun material, hingga penulisan Tesis ini dapat saya selesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini juga saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Charles O. P. Marpaung, M. S, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu, memberikan ide, serta masukan dalam penyusunan Tesis ini hingga selesai.
2. Ir. Bambang Widodo, M.T, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu, memberikan ide, serta masukan dalam penyusunan Tesis ini hingga selesai.
3. Dr. Togar Harapan Pangaribuan, M.T, selaku kaprodi Magister Teknik Elektro sekaligus sebagai dosen yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta pemikiran yang membangun, memotivasi memberikan saran dan petunjuk dalam penulisan Tesis ini.
4. Segenap staf dosen MTE-UKI dengan penuh kesabaran telah membimbing, mengajar dan mendidik saya sehingga mampu menyelesaikan masa pendidikan tepat waktu.
5. Management Pembangkit Listrik GTG Cogeneration Plant GPSEA yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk melakukan penelitian yang mendalam untuk menyelesaikan Tesis ini.
6. Jajaran Direksi PT. EUROASIATIC, W. J. H. Maehl, Henry C. H. Maehl, Alex Schmahl, yang telah memberikan dukungan kepada saya ditempat kerja untuk dapat menyelesaikan Tesis ini

7. Teman-teman seperjuangan MTE-UKI 2017, para Senior dan rekan mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, yang telah memberikan semangat, ide-ide cemerlang dan pandangan yang positif dan konstruktif.
8. Yang paling terutama, Rosmida Siahaan, Lychakap Samuel Simbolon dan Lynette Kimberly Simbolon, yang mendampingi saya dengan cinta kasih sehingga saya mampu melewati hari demi hari dalam menghadapi tantangan dalam penulisan Tesis ini.

Saya menyadari bahwa banyak kekurangan dalam penulisan Tesis ini, oleh karena itu saya mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar makalah ini menjadi lebih sempurna dan bermanfaat bagi semua pihak.

Jakarta, 10 Agustus 2019

Boy Bachter P. Simbolon

DAFTAR ISI

Halaman Judul	ii
Persetujuan Komisi Pembimbing	iii
Persetujuan Komisi Penguji	iii
Lembar Persetujuan dan Pengarsipan	iv
Lembar Pernyataan Orisinalitas	v
Abstrak	vi
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Tujuan Penelitian	1
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Penelitian	2
1.5. Output dan Manfaat	2

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Gas Turbine Berbasis Cogen Plant	4
2.1.1. Klasifikasi Cogeneration System	6
2.1.2. Dasar Teori Gas Turbine	14
2.1.3. Heat Recovery Steam Generator	30
2.2. Sistim Perawatan Pembangkit Gas Turbine	34
2.2.1. Perawatan (Maintenance)	34
2.2.2. Program Perawatan	35
2.2.3. Analisis Perawatan	38
2.2.4. Perencanaan Perawatan	43
2.2.5. Performance Sistim Perawatan	46

2.3.	Keuangan dan Investasi Pembangkit Listrik	49
2.3.1.	Pengeluaran dan Pendapatan	49
2.3.2.	Net Present Value	51
2.3.3.	Break Even Point	51
2.3.4.	Benefit Cost Ratio	50
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	Lokasi Penelitian	53
3.2.	Diagram Alir Pelaksanaan Analisis Kelayakan Pembangkit	53
3.3.	Metodologi	54
3.3.1.	Pengumpulan Data Lapangan	54
3.3.2.	Analisis Teknis, Investasi dan Lingkungan	57
 BAB IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA		
4.1.	Pengumpulan Data Lapangan untuk Menganalisis Kehandalan Komponen Gas Turbine	58
4.1.1.	Analisis Pada Compressor	59
4.1.2.	Analisis pada Combustion Chamber	59
4.1.3.	Analisis pada Turbine	60
4.1.4.	Performa Siklus Keseluruhan	60
4.2.	Pengumpulan Data Lapangan untuk Menganalisis Performa Gas Turbine dengan System Cogeneration plant	62
4.2.1.	Menentukan Specific Fuel Consumption	63
4.2.2.	Menentukan Heat Consumption Rate	63
4.2.3.	Menentukan Heat Rate	63
4.2.4.	Menentukan Gas Turbine Thermal Efficiency	64
4.2.5.	Menentukan Steam Flow Rate HRSG	64
4.2.6.	Menentukan Thermal Efficiency HRSG	64
4.2.7.	Menentukan Efficiency Gas Turbine Cogeneration	64
4.2.8.	Menentukan Overall Cogeneration Heat Rate	64

4.3	Pengumpulan Data Lapangan untuk Menganalisis Performa Maintenance Pembangkit Listrik	66
4.3.1.	Analisis Maintenance untuk Availability	67
4.3.2.	Analisis Maintenance untuk Reliability	67
4.3.3.	Analisis Maintenance untuk MTBF	67
4.3.4.	Analisis untuk Maintainability MTTR	67
4.4.	Pengumpulan Data Lapangan untuk menganalisis Keuangan Dan Investasi Pembangkit Listrik	69
4.4.1	Analisis Net Present Value (NPV)	69
4.4.2	Analisis Break Even Point (BEP)	72
4.4.3	Analisis Benefit Cost Ratio (BCR)	74
4.5.	Pengumpulan Data Lapangan untuk Menganalisis Pembangkit Terhadap Kesesuaian Baku Mutu Lingkungan	75
4.5.1.	Analisis Kualitas Udara Ambient dan Emisi Udara	75
4.5.2.	Analisis Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan	76

BAB V. PENUTUP

5.1.	Kesimpulan Akhir	78
5.2.	Saran	79

DAFTAR PUSTAKA 80

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tipe Kogenerasi Dari Beberapa Model Pembangkitan Energi
Tabel 2.2	Gas Ideal Specific Heat
Tabel 2.3	Sifat Gas Ideal Udara
Tabel 2.4	Parameter Kajian
Tabel 2.5	Pengeluaran Capital Dan Operational
Tabel 2.6	Pendapatan
Tabel 3.1	Parameter Data Analisis Kehandalan Komponen
Tabel 3.2	Parameter Data Analisis System Cogeneration
Tabel 3.3	Parameter Data Bulanan Operasi Analisis Maintenance
Tabel 3.4	Parameter Data Tahunan Breakdown Analisis Maintenance
Tabel 3.5	Parameter Pengeluaran Pengadaan dan Pengoperasian
Tabel 3.6	Parameter Pemasukan
Tabel 3.7	Parameter Kesesuaian Terhadap Baku Mutu Lingkungan
Tabel 4.1	Data Obsevasi Pada Pembangkit
Tabel 4.2	Data Pabrikan Gas Turbine
Tabel 4.3	Data Obsevasi Pada Pembangkit
Tabel 4.4	Guaranty Specification Type GPB80 dari Pabrikan
Tabel 4.5	Total Running Hours Tahun 2018
Tabel 4.6	Total Shut Down Plan 2018
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Net Present Value Dengan Harga Gas 7.0USD
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Net Present Value Dengan Harga Gas 7.4USD
Tabel 4.9	Break Even Point Dengan Harga Gas 7.0USD
Tabel 4.10	Analisis Kualitas Udara Ambient dan Emisi Udara
Tabel 4.11	Rencana Upaya Pengelolaan dan Pemantauan Cemaran Udara/Gas
Tabel 4.12	Rencana Upaya Pengelolaan dan Pemantauan Cemaran Emisi

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Perbandingan Efisiensi Sistem Konvensional dan Kogenerasi
- Gambar 2.2 Sistem Atas Siklus Kombinasi
- Gambar 2.3 Sistem Atas Turbine Uap
- Gambar 2.4 Sistem Atas Pemanfaatan Kembali Panas
- Gambar 2.5 Siklus Bawah
- Gambar 2.6 Sistem Kogenerasi Turbin Gas
- Gambar 2.7 Gas Turbin GPB80 Kawasaki
- Gambar 2.8 Siklus Terbuka Turbine Gas
- Gambar 2.9 Diagram P-v dan T-s Siklus Brayton
- Gambar 2.10 Grafik Efisiensi VS Rasio Kompresi
- Gambar 2.11 Stator Dan Rotor Pada Kompressor
- Gambar 2.12 Combuster Tipe Annular
- Gambar 2.13 Turbine
- Gambar 2.14 Kondisi Operasi Gas Turbine
- Gambar 2.15 Instalasi Turbine Gas Dan HRSG Tekanan Tunggal
- Gambar 2.16 Diagram T-s Combine Cycle
- Gambar 2.17 Maintenance Scope
- Gambar 2.18 Metoda Preventive Maintenance
- Gambar 2.19 Flow Process Corrective Maintenace
- Gambar 2.20 Diagram Alir Program Maintenance
- Gambar 2.21 Failure Developing Period (FDP)
- Gambar 2.22 Karakteristik Peralatan
- Gambar 2.23 CM Check List
- Gambar 2.24 Alat Dengan Lifetime Tertentu
- Gambar 2.25 Perencanaan Maintenace
- Gambar 2.26 Alur Proses Permintaan Pekerjaan
- Gambar 2.27 MTBF
- Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian
- Gambar 4.1 Grafik Net Cash Flow Dengan Harga Gas 7 USD/mmbtu
- Gambar 4.2 Grafik Net Cash Flow Dengan Harga Gas 7.4 USD/mmbtu
- Gambar 4.3 Grafik Break Even Point Dengan Harga Gas 7 USD/mmbtu