



**EVALUASI KINERJA TEKNO-EKONOMI DAN EMISI
KARBON PADA DESAIN SISTEM MICROGRID (PLTS–
BESS–DIESEL GENERATOR) MENGGUNAKAN STRATEGI
CYCLE CHARGING DAN *LOAD FOLLOWING***

LAPORAN TUGAS AKHIR

**ALISA QURRATA A'YUN
41423120018**

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2025**



**EVALUASI KINERJA TEKNO-EKONOMI DAN EMISI
KARBON PADA DESAIN SISTEM MICROGRID (PLTS–
BESS–DIESEL GENERATOR) MENGGUNAKAN STRATEGI
CYCLE CHARGING DAN *LOAD FOLLOWING***

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Satu (S1)

NAMA : ALISA QURRATA A'YUN
NIM : 41423120018
PEMBIMBING : PROF. DR. IR. ANDI ADRIANSYAH, M. ENG

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Alisa Qurrata A'yun

NIM : 41423120018

Program Studi : Teknik Elektro

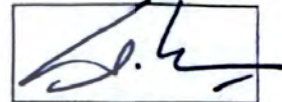
Judul : Evaluasi Kinerja Tekno-Ekonomi dan Emisi Karbon Pada
Desain Sistem Microgrid (PLTS-BESS-Diesel Generator)
Menggunakan Strategi *Cycle Charging* dan *Load Following*

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 (S1) pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana

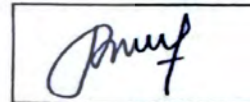
Disahkan oleh:

Tanda Tangan

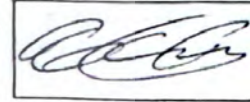
Pembimbing : Prof. Dr. Ir Andi Adriansyah M. Eng
NUPTK : 1559748649130102



Ketua Penguji : Dian Rusdiyanto, S.T., M. T
NUPTK : 1636768669130272



Anggota Penguji : Galang Persada Nurani Hakim, S.T.,
M.T., IPM., Ph.D
NUPTK : 9536763664130193



UNIVERSITAS

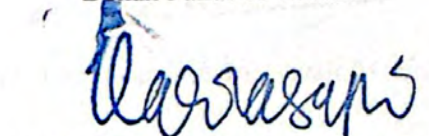
Jakarta, 15 Agustus 2025

MERCU BUANA

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Kaprodi S1 Teknik Elektro



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.

NIDN: 0307037202



Dr. Eng. Heru Suwono, ST. M.Sc

NIDN: 0314089201

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Karya Ilmiah/Laporan Tugas Akhir/Skripsi pada BAB I, BAB II, BAB III, BAB IV dan BAB V atas nama:

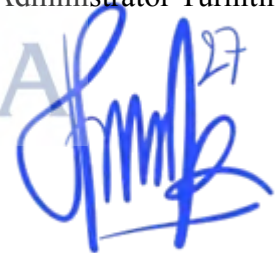
Nama : Alisa Qurrata A'yun
NIM : 41423120018
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **Evaluasi Kinerja Tekno-Ekonomi Dan Emisi Karbon pada Desain Sistem Microgrid (Plts–Bess–Diesel Generator) Menggunakan Strategi Cycle Charging dan Load Following**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Selasa, 12 Agustus 2025** dengan hasil presentase sebesar **8 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 12 Agustus 2025

Administrator Turnitin,

UNIVERSITAS
MERCU BUANA



Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alisa Qurrata A'yun
N.I.M : 41423120018
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Kinerja Tekno-Ekonomi dan Emisi Karbon
Pada Desain Sistem Microgrid (PLTS-BESS-Diesel
Generator) Menggunakan Strategi *Cycle Charging* dan
Load Following

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan plagiat, serta semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar. Apabila ternyata ditemukan di dalam Laporan Tugas Akhir saya terdapat unsur plagiat, maka saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Jakarta, 12-08-2025

UNIVERSITAS
MERCU BUANA



Alisa Qurrata A'yun

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat serta dominasi pembangkit berbasis batu bara mendorong pentingnya transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan. Di Indonesia, sekitar 80% pembangkit listrik masih menggunakan batu bara, yang menyumbang emisi karbon signifikan dan memiliki keterbatasan cadangan. Salah satu solusi strategis untuk mengurangi emisi dan meningkatkan keandalan pasokan adalah pengembangan sistem *microgrid hybrid* berbasis Energi Baru Terbarukan (EBT), khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dikombinasikan dengan *Battery Energy Storage System* (BESS) dan Diesel Generator (DG), terutama di sektor pertambangan terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik utama.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja sistem microgrid hibrida PLTS–BESS–DG dengan dua strategi operasi, yaitu *Load Following* (LF) dan *Cycle Charging* (CC). Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak HOMER Pro dengan menggunakan data operasional aktual dari lokasi tambang di Melak, Kalimantan Timur. Analisis mencakup parameter teknis dan ekonomi, meliputi Net Present Cost (NPC), Levelized Cost of Energy (LCOE), konsumsi bahan bakar, Internal Rate of Return (IRR), dan periode pengembalian investasi (payback period), serta pengurangan emisi karbon.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa strategi LF memberikan kinerja paling unggul dengan NPC sebesar Rp 568,89 miliar, LCOE Rp 4.928/kWh, serta pengurangan emisi karbon hingga 23% dibandingkan skenario full DG. Selain itu, strategi ini menghasilkan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi, payback period tercepat sebesar 1,47 tahun, dan IRR tertinggi mencapai 65,6%. Hasil kajian ini menegaskan bahwa strategi LF merupakan opsi yang layak secara teknis, efisien secara ekonomi, dan sejalan dengan target dekarbonisasi nasional. Implementasi sistem dengan LF memposisikan PLTS sebagai sumber energi utama, sementara BESS berfungsi sebagai cadangan yang dioperasikan secara optimal untuk meminimalkan beban siklus penyimpanan tanpa mengorbankan keandalan sistem.

Kata kunci: *Microgrid hybrid, Load Following, Cycle Charging, PLTS, BESS, Diesel Generator, HOMER Pro, emisi karbon, efisiensi energi.*

ABSTRACT

The increasing demand for electricity, coupled with the dominance of coal-based power plants, underscores the urgency of transitioning toward clean and sustainable energy systems. In Indonesia, approximately 80% of power generation still relies on coal, which contributes significantly to carbon emissions and faces limitations in resource reserves. One strategic solution to reduce emissions while enhancing supply reliability is the development of hybrid microgrid systems based on Renewable Energy Sources (RES), particularly Solar Photovoltaic (PV) integrated with a Battery Energy Storage System (BESS) and Diesel Generator (DG), especially in remote mining areas that are not connected to the main electricity grid.

This study aims to evaluate the performance of a hybrid PV–BESS–DG microgrid under two operational strategies: Load Following (LF) and Cycle Charging (CC). The modelling was conducted using HOMER Pro software, employing actual operational data from a mining site in Melak, East Kalimantan. The analysis covers technical and economic parameters, including Net Present Cost (NPC), Levelized Cost of Energy (LCOE), fuel consumption, Internal Rate of Return (IRR), payback period, and carbon emissions reduction.

The simulation results indicate that the LF strategy delivers the most superior performance, achieving an NPC of IDR 568.89 billion, an LCOE of IDR 4,928/kWh, and up to a 23% reduction in carbon emissions compared to the full DG scenario. Furthermore, this strategy yields higher fuel efficiency, the shortest payback period of 1.47 years, and the highest IRR of 65.6%. The findings confirm that the LF strategy is technically feasible, economically efficient, and aligned with national decarbonization targets. Implementing the LF approach positions PV as the primary energy source, with BESS serving as a backup that is optimally operated to minimize storage cycling stress without compromising system reliability.

Keywords: *Hybrid microgrid, Load Following, Cycle Charging, PLTS, BESS, Diesel Generator, HOMER Pro, carbon emissions, energy efficiency.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian berjudul “Evaluasi Kinerja Tekno-Ekonomi dan Emisi Karbon pada Desain Sistem Microgrid (PLTS–BESS–Diesel Generator) Menggunakan Strategi *Cycle Charging* dan *Load Following*”. Penelitian ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi pada Program Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana.

Penelitian bertujuan mengevaluasi efektivitas sistem microgrid hybrid dalam mendukung transisi energi bersih, khususnya di wilayah terpencil atau kawasan industri seperti pertambangan, melalui simulasi HOMER Pro dengan analisis teknis, ekonomi, dan lingkungan pada dua strategi dispatch energi.

Penulis menyadari pencapaian ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir Andi Adriansyah M. Eng, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, saran, dan motivasi selama proses penelitian ini.
2. Bapak/Ibu dosen di lingkungan Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana atas ilmu yang telah diberikan selama masa studi.
3. Suami, orang tua, serta keluarga yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat tanpa henti.
4. Teman-teman seperjuangan yang telah berbagi pengalaman dan semangat selama proses penyusunan karya ini.

Akhir kata, penulis berharap penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif baik secara akademis maupun praktis, khususnya dalam pengembangan sistem energi berkelanjutan di Indonesia, serta menyadari penelitian ini memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Jakarta, 5 Agustus 2025
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN SIMILARITY	iv
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRCT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Tujuan	1
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Terdahulu	4
2.2. <i>Microgrid</i>	5
2.3. Sistem Pembangkit Energi Listrik	7
2.3.1. Pembangkit Energi Listrik Konvensional	7
2.3.2. Pembangkit Energi Listrik Terbarukan	8
2.4. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya	12
2.4.1. Solar Panel (PV)	12
2.4.2. Inverter	15
2.5. <i>Battery Energy Storage System (BESS)</i>	16
2.6. <i>Generator Diesel (DG)</i>	17
2.7. <i>Software HOMER</i>	18

2.7.1. Simulasi	20
2.7.2. Optimasi	20
2.7.3. Analisis Sensitivitas	21
2.7.4. <i>Load Following</i> dan <i>Cycle Charging</i>	22
2.8. Model Tekno Ekonomi	24
2.9. Emisi Karbon	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1. Diagram Penelitian	29
3.2. Blok Diagram	30
3.3. Pengambilan Data	31
3.4. Sizing Komponen Microgrid PLTS Hybrid	38
3.5. Variasi Skenario Simulasi Sistem	41
3.6. Simulasi	42
3.7. Analisa	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1. Profil Lokasi dan Beban Listrik	44
4.2. Desain Sistem Microgrid	45
4.3. Hasil Skenario 1: <i>Full Diesel Generator (DG)</i>	46
4.4. Hasil Skenario 2: <i>DG + PV + BESS dengan Cycle Charging</i>	47
4.5. Hasil Skenario 3: <i>DG + PV + BESS dengan Load Following</i>	51
4.6. Diskusi	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Hybrid Microgrid _____	7
Gambar 2.2.	Diagram Skematis PLTU dan Pelepasan Emisi _____	8
Gambar 2.3.	Prinsip Kerja Sel Fotovoltaik (PV) _____	9
Gambar 2.4.	Peta GHI Indonesia _____	10
Gambar 2.5.	Kurva I-V (merah) dan P-V (hijau) _____	14
Gambar 2.6.	Konfigurasi Inverter Tipe <i>Centralized</i> , <i>String</i> dan <i>Mult String</i> _____	15
Gambar 2.7.	Hubungan Antara Simulasi, Optimisasi dengan Analisis Sensitivitas Pada Perangkat Lunak HOMER _____	19
Gambar 2.8.	Pilihan Analisis Sensitivitas pada Perangkat Lunak HOMER _____	22
Gambar 2.9.	<i>Flow Chart Load Following</i> _____	23
Gambar 2.10.	<i>Flow Chart Cycle Charging</i> _____	23
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian _____	29
Gambar 3.2.	Blok Diagram Sistem Microgrid (Diesel Generator + PLTS Hybrid) _____	30
Gambar 3.3.	Profil Beban Diesel Generator dalam 24 jam _____	32
Gambar 3.4.	Tabel dan Grafik GHI di Melak, Kalimantan Timur _____	34
Gambar 3.5.	Lama Penyinaran Matahari dari Global Atlas _____	34
Gambar 3.6.	Tabel dan Grafik Suhu Udara di Melak, Kalimantan Timur _____	35
Gambar 3.7.	Schematic Diagram Sistem Microgrid dalam HOMER Pro _____	42
Gambar 4.1.	Profil Beban Listrik setelah Diinputkan pada <i>Software</i> Homer Pro _____	44
Gambar 4.2.	<i>System Architecture Load Following</i> dan <i>Cycle Charging</i> _____	46
Gambar 4.3.	<i>Hasil Simulasi: Cost Summary (DG+PV+BESS) Cycle Charging dengan Base System (100% DG)</i> _____	47
Gambar 4.4.	Arus Kas Kumulatif Selama Masa Operasi Asset – <i>Cycle Charging</i> _____	48
Gambar 4.5.	Hasil Simulasi: Produksi, Konsumsi, dan Kelebihan Energi Sistem Microgrid (<i>Cycle Charging</i>) _____	48

Gambar 4.6.	Hasil Simulasi: <i>Renewable Energy Summary (Cycle Charging)</i>	49
Gambar 4.7.	Hasil Simulasi: Konsumsi Bahan Bakar -Emisi Karbon (<i>Cycle Charging</i>)	50
Gambar 4.8.	Hasil Simulasi: <i>Cost Summary (DG+PV+BESS) Load Following</i> dengan <i>Base System (100% DG)</i>	51
Gambar 4.9.	Arus Kas Kumulatif Selama Masa Operasi Asset – <i>Load Following</i>	52
Gambar 4.10.	Hasil Simulasi: Produksi, Konsumsi, dan Kelebihan Energi Sistem Microgrid (<i>Load Following</i>)	53
Gambar 4.11.	Hasil Simulasi: <i>Renewable Energy Summary (Load Following)</i>	53
Gambar 4.12.	Hasil Simulasi: Konsumsi Bahan Bakar -Emisi Karbon (<i>Load Following</i>)	54



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Data Beban Generator dalam Sehari (kW)	32
Tabel 3.2.	Nilai Asumsi Keekonomian dalam Simulasi	36
Tabel 3.3.	Spesifikasi BESS	40
Tabel 4.1.	Perbandingan Hasil Simulasi Skenario Microgrid	56

