

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xi
ABSTRAK	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Keaslian dan Kontribusi Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Sistem Energi Hibrida	8
2.2.2 <i>Cold Ironing</i>	9
2.2.3 Energi Baru Terbarukan (EBT).....	10
2.2.3.1 Energi Surya	10
2.2.3.2 Energi Angin.....	11
2.2.4 Baterai Lithium-ion.....	12
2.2.5 Analisis Tekno-Ekonomi.....	14
2.2.5.1 Analisis Teknik.....	14
2.2.5.2 Analisis Ekonomi.....	16
2.2.6 Analisis Lingkungan	20
2.2.7 Perangkat Lunak HOMER.....	21
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	25
3.1.1 Alat Penelitian	25
3.1.2 Bahan Penelitian	25
3.2 Tahapan Penelitian	25
3.2.1 Pengumpulan Data.....	26

3.2.1.1	Spesifikasi Lokasi Penelitian	26
3.2.1.2	Beban Listrik Kapal kontainer	26
3.2.1.3	Data Potensi Iradiasi Matahari	28
3.2.1.4	Data Potensi Kecepatan Angin	29
3.2.1.5	Data Spesifikasi Teknis Komponen Sistem.....	29
3.2.2	Penentuan Skenario.....	30
3.2.3	Perancangan Arsitekur Sistem	32
3.2.4	Analisis Tekno-Ekonomi dan Lingkungan.....	34
3.2.4.1	Analisis Teknis	34
3.2.4.2	Analisis Ekonomi	35
3.2.4.3	Analisis Lingkungan	35
3.2.5	Analisis Kelayakan Finansial	35
3.2.6	Perbandingan Konfigurasi Optimal dengan Mesin Diesel Konvensional.....	37
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1	Analisis Komparatif pada Tiap Skenario	39
4.1.1	Analisis Kinerja Teknis	39
4.1.2	Analisis Kinerja Ekonomi	40
4.1.3	Analisis Kinerja Lingkungan.....	41
4.2	Konfigurasi Optimal	43
4.2.1	Kinerja Aliran Daya Konfigurasi Optimal	44
4.2.2	Kinerja Pembangkit PV	47
4.2.3	Kinerja Penyimpanan Baterai	49
4.2.4	Kinerja Sistem Konverter	52
4.2.5	Kinerja Energi Konvensional (Grid).....	54
4.3	Kelayakan Finansial Konfigurasi Optimal.....	56
4.4	Perbandingan Konfigurasi Optimal dengan Mesin Diesel Konvensional Kapal	57
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	<i>Komparasi Penelitian</i>	5
Tabel 3.1	Parameter dan Biaya Komponen dalam Arsitektur Sistem untuk Simulasi HOMER	31
Tabel 4.1	Hasil Simulasi dari Tujuh Skenario Energi Sistem Hibrida	38
Tabel 4.2	Profil Pembagian Daya Sistem Hibrida Terhadap Beban Kapal yang Berlabuh	46
Tabel 4.3	Parameter dan Kinerja PV dari Hasil Simulasi	48
Tabel 4.4	Parameter dan Kinerja Baterai dari Hasil Simulasi	50
Tabel 4.5	Parameter dan Kinerja Inverter dari Hasil Simulasi	52
Tabel 4.6	Data Energi dan Biaya Bulanan	54
Tabel 4.7	Kelayakan Finansial dari Konfigurasi Optimal	56
Tabel 4.8	Perbandingan Kinerja Skenario Optimal dan Diesel Konvensional	57

Gambar 2.1	Kerangka Kerja Operasional <i>Software</i> HOMER [60].....	23
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 3.2	Lokasi Pelabuhan Tenau Kupang, Nusa Tenggara Timur [61].....	27
Gambar 3.3	Rata-rata Profil Beban dalam Satu Hari	27
Gambar 3.4	Data Rata-rata Iradiasi Matahari dan <i>Clearness Indeks</i> di Pelabuhan Tenau Kupang, Nusa Tenggara Timur [62]	28
Gambar 3.5	Data Rata-rata Kecepatan Angin di Pelabuhan Tenau Kupang, Nusa Tenggara Timur [62]	29
Gambar 3.6	Arsitektur Sistem yang Diusulkan di Pelabuhan Tenau Kupang. ...	33
Gambar 4.1	Hasil Simulasi dari Tujuh Skenario pada Metrik Teknis	39
Gambar 4.2	Hasil Simulasi dari Tujuh Skenario pada Metrik Ekonomi.....	41
Gambar 4.3	Hasil Simulasi dari Tujuh Skenario pada Metrik Lingkungan	42
Gambar 4.4	Arsitektur Sistem Konfigurasi Optimal.....	43
Gambar 4.5	Ringkasan Biaya Konfigurasi Optimal	43
Gambar 4.6	Profil Interaksi Aliran Daya Harian pada Konfigurasi Optimal untuk Memenuhi Beban Kapal selama berlabuh	45
Gambar 4.7	Data Keluaran PV pada Konfigurasi Optimal.....	47
Gambar 4.8	Data Keluaran Penyimpanan Baterai pada Konfigurasi Optimal....	49
Gambar 4.9	Data Keluaran Sistem Konverter pada Konfigurasi Optimal	52
Gambar 4.10	Data Keluaran Aliran Listrik dari Grid pada Konfigurasi Optimal .	54

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

P_{PV-out}	Daya keluaran PV aktual (W)
$P_{PV-rated}$	Daya nominal panel PV yang diukur (W)
G	Intensitas radiasi surya yang diterima panel PV (W/m^2)
G_{ref}	Besaran radiasi surya pada kondisi standar ($1000 W/m^2$)
K_T	Koefisien suhu dari modul PV
T_c	Suhu sel PV aktual
T_{ref}	Suhu referensi sel
P_m	Daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin (W)
ρ	Kerapatan udara ($1.225 kg/m^3$)
A	Luas area sapuan baling-baling turbin (m^2)
V	Kecepatan angin (m/s)
P_w	<i>Output</i> listrik yang dihasilkan sistem konversi energi angin (kW)
C_e	Efisiensi maksimum ekstraksi daya generator angin dan komponen listrik
C_{req_batt}	Kapasitas yang dibutuhkan untuk bank baterai (Ah)
$E_{req,daily}$	Kebutuhan energi harian (Wh)
$T_{autonomy}$	Jumlah hari suatu sistem dapat memenuhi permintaan energinya tanpa energi angin
DOD_{max}	Kedalaman pengosongan baterai maksimum
SV	Sistem tegangan baterai yang akan digunakan
$C_{rev_batt_req}$	Kapasitas yang dibutuhkan untuk bank baterai dengan memper-timbangkan faktor koreksi suhu baterai (Ah)
f_{tempt_batt}	Faktor koreksi suhu baterai
N_{s_batt}	Jumlah baterai per <i>string</i>
N_{p_batt}	Jumlah <i>string</i> baterai paralel
V_{nom_batt}	Tegangan nominal baterai (V)
C_{per_batt}	Kapasitas Ah baterai pada laju pengosongan
C_{OM}	Total biaya O&M tahunan (\$)
K_{OM}	Rasio atau faktor biaya operasi baterai (\$/kWh)
$P_{SB}(t)$	Daya yang masuk (<i>charging</i>) atau keluar (<i>discharging</i>) dari sistem penyimpanan baterai pada suatu interval waktu t (kW)
Δt	Durasi dari setiap interval waktu tersebut (jam)
n	Periode operasi dari $t = 1$ hingga n (jam)
E_{unmet}	Total energi yang tidak terpenuhi selama periode simulasi (kWh)
$E_{load,t}$	Kebutuhan beban listrik pada jam t (kWh)

$E_{supply,t}$	Energi yang dipasok oleh sistem hibrida pada jam t (kWh)
E_{excess}	Total energi listrik berlebih yang dibuang (kWh)
$E_{RE,t}$	Total <i>output</i> dari sumber energi terbarukan pada jam t (kWh)
$E_{charge,t}$	Energi yang dialirkan ke penyimpanan/baterai pada jam t (kWh)
RF	Fraksi Energi Terbarukan (%)
E_{non-RE}	Energi yang dipasok dari sumber non-terbarukan (kWh)
E_{served}	Total kebutuhan beban listrik yang terpenuhi oleh sistem (kWh/tahun)
OPEX	Total Biaya Operasional Tahunan (\$/tahun)
$C_{fixed,j}$	Biaya O&M tetap untuk komponen j (\$/tahun)
$C_{variable,j}$	Biaya O&M variabel untuk komponen j (\$)
C_{fuel}	Biaya bahan bakar tahunan (jika ada) (\$)
NPC	<i>Net Present Cost</i> (\$)
C_{Cap}	Biaya Modal Awal (CAPEX) pada tahun 0 (\$)
C_n	Total biaya yang dikeluarkan pada tahun n (termasuk OPEX dan penggantian) (\$)
R_n	Pendapatan atau nilai sisa (<i>salvage value</i>) pada tahun n (\$)
N	Masa pakai proyek (tahun)
i	Suku bunga diskonto riil (<i>real interest rate</i>)
COE	<i>Levelized Cost of Energy</i> (\$/kWh)
CRF	<i>Capital Recovery Factor</i> (Faktor Pemulihan Modal)
NPV	<i>Net Present Value</i> (\$)
CF_n	Arus kas bersih (<i>net cash flow</i>) pada tahun n (\$)
r	Tingkat diskonto yang digunakan (<i>discount rate</i>)
AW	<i>Annual Worth</i> (\$/tahun)
IRR	<i>Internal Rate of Return</i> (tingkat diskonto yang membuat NPV sama dengan nol) (%)
ROI	<i>Return on Investment</i> (%)
SPP	<i>Simple Payback Period</i> (tahun)
DPBP	<i>Discounted Payback Period</i> (tahun)
ϵ_i	Total massa emisi dari polutan spesifik (kg)
EF_i	Faktor emisi untuk polutan (kg/kWh)
E_i	Total energi yang ditarik dari jaringan listrik (kWh) atau jumlah bahan bakar yang dikonsumsi
AC	<i>Alternating Current</i> (Arus Bolak-balik)
AMP	<i>Alternative Maritime Power</i>
AW	<i>Annual Worth</i>

BESS	<i>Battery Energy Storage System</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CMS	<i>Cable Management System</i>
CO ₂	<i>Carbon Dioxide</i>
COE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
CRF	<i>Capital Recovery Factor</i>
DC	<i>Direct Current (Arus Searah)</i>
DCF	<i>Discounted Cash Flow</i>
DG	Diesel Generator
DOD	<i>Depth of Discharge</i>
EBT	Energi Baru Terbarukan
FC	<i>Fuel Cell</i>
GHI	<i>Global Horizontal Irradiation</i>
GRK	Gas Rumah Kaca
HAPs	<i>Hazardous Air Pollutants</i>
HOMER	<i>Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources</i>
HRES	<i>Hybrid Renewable Energy System</i>
HVSC	<i>High Voltage Supply Connection</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IRR	<i>Internal Rate of Return</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
LIBs	<i>Lithium-ion Batteries</i>
LVSC	<i>Low Voltage Supply Connection</i>
NIM	Nomor Induk Mahasiswa
NPC	<i>Net Present Cost</i>
NPV	<i>Net Present Value</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
O&M	<i>Operation and Maintenance</i>
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PHES	<i>Pumped Hydro Energy Storage</i>
PLTS	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
PM	<i>Particulate Matter</i>
PV	<i>Photovoltaic</i>
RF	<i>Renewable Fraction</i>
ROI	<i>Return on Investment</i>



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

**PERANCANGAN SISTEM ENERGI HIBRIDA UNTUK COLD IRONING DI PELABUHAN TENAU
KUPANG: ANALISIS
TEKNO-EKONOMI**

ARBAIN, Prof. Dr.Eng. Ir. F. Danang Wijaya, S.T., M.T., IPM. ; Dr.-Ing. Ir. Yohan Fajar Sidik, S.T., M.Eng.

Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

SOC	<i>State of Charge</i>
SPP	<i>Simple Payback Period</i>
UGM	Universitas Gadjah Mada
VAWT	<i>Vertical Axis Wind Turbine</i>
VOC	<i>Volatile Organic Compound</i>
WT	<i>Wind Turbine</i>