



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Keaslian dan Kontribusi Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 Jenis-Jenis Kapal	7
2.2.1.1 Kapal Kontainer.....	8
2.2.1.2 Kapal Ro-Ro	8
2.2.1.3 Kapal <i>Tanker</i>	8
2.2.1.4 Kapal <i>Cruise</i>	9
2.2.2 Konfigurasi Sistem Daya <i>Onboard</i>	9
2.2.3 Topologi Mikrogrid Pelabuhan	9
2.2.4 Sistem <i>Cold Ironing</i>	12
2.2.4.1 Perkembangan Implementasi CI	12
2.2.4.2 Tantangan Teknis dan Operasional CI.....	14
2.2.4.3 Konfigurasi Teknis Peralatan Koneksi CI.....	16
2.2.4.4 Standar CI	18
2.2.5 Alternatif Energi Terbarukan di Pelabuhan	18
2.2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	19
2.2.6.1 Instalasi PLTS Atap	24
2.2.6.2 Instalasi PLTS Lahan Terbuka.....	24
2.2.6.3 Instalasi PLTS Kanopi Parkir	25



2.2.7	Beban Kapal Sandar.....	27
2.2.7.1	Beban Berdasarkan Jenis Kapal.....	28
2.2.7.2	Jenis Beban Harian.....	30
2.2.7.3	Faktor Beban Kapal Sandar	30
2.2.7.4	Persentase Beban Kapal Sandar.....	31
2.3	Pertanyaan Penelitian.....	31
2.4	Hipotesis.....	31
BAB III	METODE PENELITIAN.....	33
3.1	Usulan Konfigurasi <i>Cold Ironing</i>	33
3.2	Lokasi Penelitian	34
3.2.1	PT Pelabuhan Indonesia III (Persero)	34
3.2.2	Fasilitas Pelabuhan Tanjung Emas.....	34
3.2.3	Pelayanan Dermaga	36
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	36
3.3.1	Alat Penelitian	36
3.3.2	Bahan Penelitian	37
3.4	Tahapan Penelitian	37
3.4.1	Pengumpulan Data.....	37
3.4.2	Simulasi dan Analisis Teknis.....	38
3.4.2.1	Simulasi Sistem PLTS dengan <i>Software PVsyst</i>	38
3.4.2.2	Simulasi Aliran Daya dengan <i>Software PowerFactory</i>	39
3.4.3	Analisis Biaya Operasional.....	41
3.4.3.1	Biaya Listrik Diesel.....	41
3.4.3.2	Biaya Listrik <i>Grid</i>	42
3.4.3.3	Biaya Listrik PLTS.....	43
3.4.4	Analisis Emisi Karbon.....	44
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1	Perancangan PLTS Atap	46
4.1.1	Analisis Potensi Area	46
4.1.2	Analisis Iradiasi Matahari dan Suhu Lingkungan.....	47
4.1.3	Komponen PLTS	47
4.1.3.1	Kapasitas Panel Surya	47
4.1.3.2	Kapasitas Inverter	49
4.1.3.3	Kapasitas Baterai	50
4.1.4	Analisis Kebutuhan Daya	50
4.1.4.1	Diagram Beban Setahun	51
4.1.4.2	Analisis Beban Setiap Terminal.....	52
4.1.5	Hasil simulasi <i>PVSyst</i> PLTS on Grid	54
4.1.5.1	Analisis Produksi Energi Listrik dengan Faktor Iradiasi..	56
4.1.5.2	Analisis Produksi Energi Listrik dengan Faktor Suhu	56
4.2	Analisis Aliran Daya	57
4.2.1	Terminal <i>Cold Ironing</i>	58



4.2.2	Karakteristik Beban Listrik Kapal Saat Berlabuh	58
4.2.3	Ketersediaan Energi Matahari Berdasarkan Musim	59
4.2.4	Analisis Aliran Daya Kondisi Operasi Normal	60
4.2.4.1	Analisis Tegangan Bus	62
4.2.4.2	Aliran Daya Aktif	63
4.2.4.3	Aliran Daya Reaktif.....	63
4.2.4.4	Pembebanan Saluran.....	64
4.2.4.5	Persentase Pembebanan Transformator	65
4.2.5	Analisis Aliran Daya Kondisi Intermiten	66
4.2.5.1	Analisis Tegangan Bus	67
4.2.5.2	Aliran Daya Aktif	67
4.2.5.3	Aliran Daya Reaktif.....	68
4.2.5.4	Pembebanan Saluran.....	69
4.2.5.5	Persentase Pembebanan Tranformator.....	69
4.2.6	Analisis Rugi Daya	70
4.2.6.1	Rugi Daya Kondisi Beban Penuh.....	70
4.2.6.2	Rugi Daya Kondisi Intermiten.....	71
4.3	Analisis Biaya Operasional dan Emisi	72
4.3.1	Analisis Pengurangan Biaya Operasional	72
4.3.1.1	Biaya Operasional Diesel.....	72
4.3.1.2	Biaya Operasional Grid	73
4.3.1.3	Biaya Operasional PLTS on Grid	73
4.3.2	Analisis Pengurangan Emisi Karbon	74
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
5.1	Kesimpulan	76
5.2	Saran.....	76
	DAFTAR PUSTAKA	77
	LAMPIRAN	L-1
	Lampiran 1: Diagram PLTS.....	L-1
	Lampiran 2: Contoh Dokumen Penjadwalan Kapal	L-2
	Lampiran 3: Data Saluran Tiap Dermaga	L-3



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Ringkasan Literatur Penelitian	4
Tabel 2.1	Level Tegangan Sesuai Kebutuhan Daya Kapal	15
Tabel 2.2	Standar Internasional dan Kebutuhan Daya Kapal [43]	19
Tabel 2.3	Regulasi dan Arahkan Komplementer untuk Sistem CI [29], [44].	20
Tabel 2.4	Kebutuhan Tegangan dan Daya Kapal Sandar	29
Tabel 2.5	Kebutuhan Daya Listrik Kapal Sandar Setiap Jam	29
Tabel 2.6	Faktor Beban Mesin <i>Auxiliary</i>	31
Tabel 2.7	Persentase Kebutuhan Beban Kapal	32
Tabel 3.1	Fasilitas Pelabuhan Tanjung Emas	34
Tabel 3.2	Nilai SFOC Berdasarkan Jenis Mesin	42
Tabel 3.3	Fluktuasi Harga Bahan Bakar	42
Tabel 3.4	Tarif Tenaga Listrik Keperluan Bisnis	43
Tabel 3.5	Koefisien Emisi	45
Tabel 4.1	Tingkat Iradiasi Matahari dan Suhu Lingkungan Lokasi Penelitian....	48
Tabel 4.2	Spesifikasi Panel Longi Solar LR5-66HPH-500M G2	49
Tabel 4.3	Spesifikasi Inverter Gamesa Electric E-1.4 MVA	50
Tabel 4.4	Produksi Energi dari PLTS	54
Tabel 4.5	Hubungan Iradiasi Matahari dengan Produksi Energi Listrik	56
Tabel 4.6	Hubungan Suhu Lingkungan dengan Produksi Energi Listrik	57
Tabel 4.7	Kebutuhan Daya Kapal Sandar	59
Tabel 4.8	Variasi Iradiasi Matahari dan Suhu Lingkungan	60
Tabel 4.9	Nilai Tegangan Bus Kondisi Beban Penuh	62
Tabel 4.10	Aliran Daya Aktif Kondisi Beban Penuh	63
Tabel 4.11	Aliran Daya Reaktif Kondisi Beban Penuh	64
Tabel 4.12	Pembebanan Saluran Kondisi Beban Penuh	65
Tabel 4.13	Pembebanan Trafo Kondisi Beban Penuh	66
Tabel 4.14	Nilai Tegangan Bus Kondisi Intermiten	67
Tabel 4.15	Aliran Daya Aktif Kondisi Intermiten	68
Tabel 4.16	Aliran Daya Reaktif Kondisi Intermiten	68
Tabel 4.17	Pembebanan Saluran Kondisi Intermiten	69
Tabel 4.18	Pembebanan Trafo Kondisi Intermiten	70
Tabel 4.19	Rugi Daya Kondisi Beban Penuh	71
Tabel 4.20	Rugi Daya Kondisi Intermiten	71
Tabel 4.21	Analisis Biaya Operasional Sistem CI	73
Tabel 4.22	Analisis Pengurangan Emisi CO ₂	74
Tabel 5.1	Data Saluran <i>Incoming</i> Dermaga	L-4



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis – jenis kapal [28].	8
Gambar 2.2	Konfigurasi sistem daya <i>onboard</i>	10
Gambar 2.3	Topologi mikrogrid pelabuhan [33].	11
Gambar 2.4	Konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah implementasi CI.....	12
Gambar 2.5	Fasilitas CI di pelabuhan seluruh dunia pada tahun 2020.	13
Gambar 2.6	Koneksi kapal pada sistem CI [39].	14
Gambar 2.7	Struktur kelistrikan sistem CI.	15
Gambar 2.8	Diagram satu garis dari panel utama dengan <i>shore connection</i> [10].	16
Gambar 2.9	Diagram satu garis sistem CI.	17
Gambar 2.10	Prinsip kerja sel panel surya.....	21
Gambar 2.11	Teknologi panel surya.	22
Gambar 2.12	Rangkaian ekuivalen modul panel surya.	22
Gambar 2.13	Kurva I-V dan P-V saat iradiasi bervariasi.	23
Gambar 2.14	Kurva I-V dan P-V saat suhu bervariasi.	23
Gambar 2.15	Komponen utama PLTS [55].	24
Gambar 2.16	Integrasi sistem BIPV, BAPV, dan PV konvensional pada atap.	25
Gambar 2.17	Berbagai konfigurasi PV yang dipasang di tanah.	26
Gambar 2.18	PLTS kanopi parkir dengan sistem tiang kayu	26
Gambar 2.19	PLTS kanopi parkir dengan sistem tiang besi.	27
Gambar 2.20	Solar carport dengan atap miring ke atas dalam satu arah [61].	27
Gambar 2.21	PLTS kanopi parkir dengan atap miring dan melengkung ke satu arah [60].	28
Gambar 2.22	Solar carport dengan atap sedikit miring [60].	28
Gambar 3.1	Usulan Konfigurasi Sistem <i>Cold Ironing</i>	33
Gambar 3.2	Kawasan Pelabuhan Tanjung Emas.....	36
Gambar 3.3	Tahapan penelitian.....	37
Gambar 3.4	Alur simulasi software <i>PVsyst</i>	38
Gambar 4.1	Persebaran instalasi PLTS di Pelabuhan Tanjung Emas.	46
Gambar 4.2	Komposisi <i>call</i> berdasarkan jenis kapal.	51
Gambar 4.3	Kebutuhan energi dalam setahun.....	52
Gambar 4.4	Kebutuhan energi di Terminal Samudera.	53
Gambar 4.5	Kebutuhan energi di Terminal Nusantara.	53
Gambar 4.6	Grafik produksi energi dari PLTS.....	55
Gambar 4.7	Rasio kinerja PLTS.	55
Gambar 4.8	Rancangan konfigurasi terminal CI.....	58
Gambar 4.9	Kurva daya PV pada musim hujan.....	60
Gambar 4.10	Kurva daya PV pada musim kemarau.....	61
Gambar 4.11	Aliran daya operasi normal.....	61
Gambar 4.12	Aliran daya operasi intermiten.....	66
Gambar 5.1	Spesifikasi kabel <i>incoming</i> dermaga.	L-3



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Gambar 5.2 Kuat hantar arus kabel. L-3