© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PERENCANAAN PLTS ON – GRID TIED SYSTEM UNTUK EMPAT BANGUNAN GUDANG DI PHE ONWJ MARUNDA: ANALISA TEKNIS, EKONOMI, DAN EMISI

CAPSTONE PROJECT

Merupakan persyaratan untuk meraih gelar

Sarjana Terapan Teknik di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Disusun oleh:

Alifyah Yasmin Puspaningrum **2402432003**

Bayu Adi Harnanto **2402432009**

Syaiful Bahri **2402432025**

Yoga Kurniawan **2402432012**

RENEWABLE ENERGY SKILLS AND DEVELOPMENT PROGRAM

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

2025

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

CAPSTONE PROJECT

PERENCANAAN PLTS *ON – GRID TIED SYSTEM* UNTUK EMPAT BANGUNAN GUDANG DI PHE ONWJ MARUNDA: ANALISA TEKNIS, EKONOMI, DAN EMISI

Disusun oleh:

Alifyah Yasmin Puspaningrum	**2402432003**
Bayu Adi Harnanto	**2402432009**
Syaiful Bahri	**2402432025**
Yoga Kurniawan	**2402432012**

Program Studi Diploma 4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Laporan *Capstone Project* telah disetujui oleh coaches

Coach 1	*Coach* 2
Benhur Nainggolan S.T., M.T.	P.Jannus S.T., M.T
NIP. 196106251990031003	NIP. 196106251990031003

Ketua Program Studi
D4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Yuli Mafendro Dedet E.S., S.Pd., M.T.
NIP. 199403092019031913

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

CAPSTONE PROJECT

PERENCANAAN PLTS *ON – GRID TIED SYSTEM*
UNTUK EMPAT BANGUNAN GUDANG DI PHE ONWJ MARUNDA:
ANALISA TEKNIS, EKONOMI, DAN EMISI

Disusun oleh:

Alifyah Yasmin Puspaningrum	**2402432003**
Bayu Adi Harnanto	**2402432009**
Syaiful Bahri	**2402432025**
Yoga Kurniawan	**2402432012**

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Capstone Project di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 24 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma IV) pada Program Studi D4 – Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dr. Paulus Sukusno, S.T., M.T. NIP. 196108011989031001	Penguji 1		24/7/2025
2	Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T. NIP. 196301161993031001	Penguji 2		24/7/2025
3	Benhur Nainggolan S.T., M.T. NIP. 196106251990031003	Penguji 3		24/7/2025

Depok, 24 Juli 2025
Disahkan oleh:
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE.
NIP. 197707142008121005

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERSETUJUAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Syaiful Bahri

NIM 2402432025

Program Studi : D4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Dengan ini kami menyatakan bahwa seluruh isi dan materi yang tercantum dalam Laporan *Capstone Project* ini sepenuhnya merupakan hasil pemikiran, analisis, dan karya kami sendiri. Kami tidak melakukan penjiplakan terhadap karya ilmiah milik pihak lain, baik secara keseluruhan maupun sebagian, tanpa memberikan pengakuan yang semestinya. Apabila dalam penyusunan laporan ini terdapat pemikiran, pendapat, teori, atau temuan yang berasal dari penulis atau pihak lain, maka hal tersebut telah kami kutip dan cantumkan dengan mengacu pada kaidah dan etika penulisan ilmiah yang berlaku, termasuk penggunaan sitasi dan daftar pustaka sesuai standar akademik. Pernyataan ini kami buat dengan penuh tanggung jawab dan kejujuran akademik, sebagai bentuk integritas dalam penyusunan karya ilmiah.

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Depok, 24 Juli 2025

Ketua Kelompok

Syaiful Bahri

NIM. 2402432025

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PERENCANAAN PLTS ON – GRID TIED SYSTEM UNTUK EMPAT BANGUNAN GUDANG DI PHE ONWJ MARUNDA: ANALISA TEKNIS, EKONOMI, DAN EMISI

Alifyah Yasmin Puspaningrum[1)], Bayu Adi Harnanto[1)], Syaiful Bahri[1)], Yoga Kurniawan[1)], Benhur Nainggolan[1)], P.Jannus[1)]

[1)]Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email : alifyah.yasmin.puspaningrum.tm24@stu.pnj.ac.id; bayu.adi.harnanto.tm24@stu.pnj.ac.id; syaiful.bahri.tm24@stu.pnj.ac.id; yoga.kurniawan.tm24@stu.pnj.ac.id

RANGKUMAN EKSEKUTIF

Transisi energi menuju sumber energi terbarukan menjadi prioritas nasional untuk mengurangi emisi karbon dan mendukung pencapaian target *net-zero emission* pada tahun 2060. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tipe *on-grid tied system* pada empat bangunan gudang milik PHE ONWJ di Marunda, Jakarta Utara. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan ketentuan sistem klaster dan kuota yang diatur dalam Permen ESDM No. 2 Tahun 2024, serta mempertimbangkan empat konfigurasi kapasitas daya PLTS: 100%, 75%, 50%, dan 25% dari total kebutuhan daya listrik gudang.

Metodologi penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui observasi lapangan, studi literatur, simulasi teknis menggunakan perangkat lunak PVsyst, dan analisis ekonomi teknik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi 100% menghasilkan energi listrik sebesar 2,247,205 kWh selama 25 tahun, dengan efisiensi sistem 98.46% dan potensi pengurangan emisi karbon sebesar 1,860.09 ton CO_2e. Analisis ekonomi menunjukkan IRR sekitar 5.12%, payback period 14 tahun, dan NPV negatif, mengindikasikan proyek belum layak secara finansial murni, tetapi memiliki potensi nilai tambah dari skema perdagangan karbon.

PLTS dinilai layak secara teknis untuk semua skenario, namun konfigurasi 100% direkomendasikan karena mampu memberikan kontribusi maksimal terhadap pengurangan emisi, kemandirian energi, dan mendukung target keberlanjutan lingkungan perusahaan. Studi ini memberikan dasar strategis bagi pengambilan keputusan investasi energi terbarukan yang berorientasi jangka panjang dan selaras dengan kebijakan nasional.

Kata-kata kunci: *Zero Energy Building*, PLTS *On-Grid*, Analisis Ekonomi Teknik, Pengurangan Emisi Karbon, Kelayakan Energi Terbarukan

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ON-GRID TIED SOLAR POWER SYSTEM DESIGN FOR FOUR WAREHOUSE BUILDINGS AT PHE ONWJ MARUNDA: TECHNICAL, ECONOMIC, AND EMISSION ANALYSIS

Alifyah Yasmin Puspaningrum[1)], Bayu Adi Harnanto[1)] , Syaiful Bahri[1)] , Yoga Kurniawan[1)], Benhur Nainggolan[1)], P.Jannus[1)]

[1)]Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email : alifyah.yasmin.puspaningrum.tm24@stu.pnj.ac.id; bayu.adi.harnanto.tm24@stu.pnj.ac.id; syaiful.bahri.tm24@stu.pnj.ac.id; yoga.kurniawan.tm24@stu.pnj.ac.id

EXECUTIVE SUMMARY

The energy transition toward renewable energy sources has become a national priority to reduce carbon emissions and support the achievement of net-zero emission targets by 2060. This study aims to design an on-grid tied solar power plant system for four warehouse buildings owned by PHE ONWJ in Marunda, North Jakarta. The design process considers the clustered system and capacity quota provisions regulated in the Indonesian Ministry of Energy and Mineral Resources Regulation No. 2 of 2024, as well as four different solar power plan capacity configurations: 100%, 75%, 50%, and 25% of the total warehouse electricity demand.

The research methodology adopts a quantitative approach through field observations, literature review, technical simulations using PVsyst software, and techno-economic analysis. The simulation results show that the 100% configuration can generate 2,247,205 kWh of electricity over 25 years, with a system efficiency of 98.46% and a potential carbon emission reduction of 1,860.09 tons of CO_2e. The economic analysis yields an Internal Rate of Return (IRR) of approximately 5.12%, a payback period of 14 years, and a negative Net Present Value (NPV), indicating that the project is not yet financially viable on its own but presents potential added value through carbon trading schemes.

The solar power plan is deemed technically feasible under all scenarios; however, the 100% configuration is recommended due to its ability to deliver the highest contribution to emission reduction, energy independence, and support the company's environmental sustainability goals. This study provides a strategic foundation for long-term, renewable energy investment decisions that align with national energy policies.

Keywords: *Zero Energy Building, On-Grid Solar PV, Techno-Economic Analysis, Carbon Emission Reduction, Renewable Energy Feasibility*

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan *Capstone Project* yang berjudul "**PERENCANAAN PLTS *ON – GRID TIED SYSTEM* UNTUK EMPAT BANGUNAN GUDANG DI PHE ONWJ MARUNDA: ANALISA TEKNIS, EKONOMI, DAN EMISI**" tepat pada waktunya. *Capstone Project* ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Diploma IV Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan *Capstone Project* ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Muslimin, S. T., M. T., IWE. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Yuli Mafendro Dedet E. S, S.Pd., M.T. sebagai Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Benhur Nainggolan, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi dalam penyelesaian *Capstone Project* ini.
4. Bapak P.Jannus S.T., M.T selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses penyusunan *Capstone Project* ini.
5. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan banyak pengetahuan selama perkuliahan.
6. Bapak Asep Kurniawan, ST selaku klien dalam *Capstone Project ini.*
7. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan doa restunya dalam pelaksanaan *Capstone Project* ini.
8. Tim kelompok *Capstone Project* yang telah bersama-sama berkontribusi dalam pelaksanaan *Capstone Project* ini.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

9. Teman-teman kepada rekan-rekan kawan seperjuangan yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian *Capstone Project* ini.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan *Capstone Project* ini masih terdapat kekurangan yang harus diperbaiki. Tetapi dengan adanya laporan ini, semoga dapat menjadi suatu ilmu yang bermanfaat dan berkah bagi kami dan bagi semua pihak terutama bidang Teknologi Rekayasa Konversi Energi. Penulis dengan hati terbuka menerima segala kritik dan saran.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

Halaman Persetujuan I
Halaman Pengesahan II
Lembar Persetujuan Orisinalitas III
Rangkuman Eksekutif IV
Executive Summary V
Kata Pengantar VI
Daftar Isi VIII
Daftar Gambar XII
Daftar Tabel XIV
Daftar Lampiran XVI
Bab 1 Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Metodologi Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 6
Bab 2 Deskripsi Situasi Awal 8
2.1 Informasi Umum 8
2.2 Lokasi Proyek 9
2.3 Observasi 10
2.3.1 Konsumsi Energi Harian 10
2.3.2 Iradiasi Matahari di Marunda, Jakarta Utara 13
2.3.3 Area Pemasangan dan Hasil Pengukuran 14
2.3.4 Potensi Shading 14
Bab 3 Metodologi 16
3.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 16
3.1.1 Prinsip Kerja PLTS 17
3.1.2 Jenis Sistem PLTS 18

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.3 Komponen – Komponen Utama PLTS 21
3.2 Aspek Mekanikal Dalam Perancangan PLTS 36
3.2.1 Perhitungan Potensi Radiasi Matahari (Solar Irradiance) 36
3.2.2 Penentuan Orientasi Modul Surya 36
3.2.3 Penentuan Luas Area 38
3.2.4 Daya Puncak Modul PV 41
3.2.5 Penentuan Jumlah Modul PV yang Diperlukan 42
3.2.6 Pemilihan Inverter 43
3.2.7 Software PVsyst 7.3.1 43
3.3 Aspek Elektrikal Dalam Perancangan PLTS 45
3.3.1 Konfigurasi Rangkaian Modul PV 45
3.3.2 Estimasi Energi Listrik Terencana dari PLTS 47
3.3.3 Perancangan Kabel dan Proteksi Sisi DC 47
3.3.4 Perancangan Kabel dan Proteksi Sisi AC 51
3.3.5 Grounding 53
3.3.6 Penangkal Petir 55
3.3.7 Tegangan Jatuh 57
3.3.8 Surge Protection Device (SPD) 58
3.3.9 Estimasi Energi dihasilkan 58
3.4 Aspek Sipil Dalam Perancangan PLTS 58
3.4.1 Mounting dan Pemasangan Antar Panel 58
3.4.2 Analisis Beban Mati Struktur PLTS Tipe Fixed Grounded 61
3.4.3 Analisis Beban Mati Struktur PLTS Tipe Fixed Grounded 62
3.4.4 Kombinasi Beban 63
3.4.5 Analisis Daya Dukung Tanah untuk Pondasi PLTS 64
3.5 Aspek Ekonomi Teknik Dalam Perancangan PLTS 65
3.5.1 Konsep Ekonomi Teknik Dalam Energi Terbarukan 66
3.5.2 Perhitungan Biaya Investasi Awal (Cii) 66
3.5.3 Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan 67
3.5.4 Analisis Kelayakan Finansial 68
3.6 Analisa Pengurangan Emisi Karbon 73

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.6.1 Metodologi Perhitungan 74
3.7 Standart dan Peraturan 75
3.7.1 Ringkasan Peraturan Menteri Energi Sumber Daya Mineral No.2 Tahun 2024 75
3.7.2 *Risk Analysis* 78
3.7.3 *Risk Management* 78
Bab 4 Hasil Analisa Perhitungan Dan Diskusi 79
4.1 Hasil Perhitungan Perancangan PLTS 79
4.1.1 Perhitungan Potensi Radiasi Matahari 79
4.1.2 Perhitungan Sudut Kemiringan Modul PV 79
4.1.3 Perhitungan Luas Area Ladang Modul PV 80
4.1.4 Perhitungan Jumlah Modul PV yang diperlukan 82
4.1.5 Perhitungan Inverter yang Digunakan 83
4.1.6 Hasil Simulasi PVSys 84
4.1.7 Performansi Rasio 86
4.2 Perancangan Sipil 88
4.2.1 Desain Frame Modul 88
4.2.2 Perhitungan Tinggi Tiang Struktur 89
4.2.3 Perhitungan Kebutuhan Almunium 90
4.2.4 Desain Tapak Pondasi Beton 91
4.2.5 Perhitungan Analisis Beban Mati 92
4.2.6 Perhitungan Analisis Beban Angin 92
4.2.7 Analisa Dukung Tanah 92
4.3 Perancangan Elektrikal 93
4.3.1 Daya Puncak PLTS 93
4.3.2 Jumlah Modul 93
4.3.3 Pemilihan Inverter 94
4.3.4 Menentukan Konfigurasi Modul PV 94
4.3.5 Pemilihan kabel dan proteksi 96
4.3.6 Tegangan Jatuh 98
4.3.7 Estimasi Energi 98

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

4.4 Analisa Ekonomi 100
4.4.1 Biaya Investasi Awal 100
4.4.2 Biaya Operasional dan Pemeliharaan 102
4.4.3 Analisa Kelayakan Ekonomi 103
4.5 Analisa Kontribusi PLTS Terhadap Penurunan Emisi Karbon 110
4.5.1 Produksi Energi dan Konsumsi Listrik 111
4.5.2 Emisi *Baseline* dan Pengurangan Emisi Karbon 113
4.5.3 Nilai Kredit Karbon 114
4.5.4 Pendekatan Visual: Konversi ke Jumlah Pohon 115
4.6 Simulasi Sensitivitas NPV, ROI dan PP terhadap Nilai Kredit Karbon 117
4.7 Manajemen Resiko 118
Bab 5 Rekomendasi Untuk Client 128
5.1 Kesimpulan 128
5.2 Rekomendasi 129
Daftar Pustaka 131
Lampiran 134

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lokasi *Capstone Project* 10
Gambar 2.2 Grafik Konsumsi Energi Harian 12
Gambar 2.3 Kondisi Lingkungan Sekitar Lokasi Instalasi 15
Gambar 3.1 Diagram Alir 16
Gambar 3.2 PLTS *On – Grid Tied System* 18
Gambar 3.3 PLTS *Off – Grid System* 20
Gambar 3.4 Modul PV Jenis Monokristalin 22
Gambar 3.5 Modul PV Jenis Polikristalin 23
Gambar 3.6 Modul PV Jenis *Thin Film* 23
Gambar 3.7 Inverter Tipe O*n – Grid Tied* 24
Gambar 3.8 Jenis – Jenis Kabel DC 27
Gambar 3.9 Jenis – Jenis Kabel AC 28
Gambar 3.10 Kabel *Grounding* 29
Gambar 3.11 Proteksi DC 30
Gambar 3.12 MCB AC 31
Gambar 3.13 Area Proteksi Air Terminal Penangkal Petir 32
Gambar 3.14 *Rail* 33
Gambar 3.15 *Rail Joiner* 34
Gambar 3.16 *Clamp* 34
Gambar 3.17 *Ground Lug* 34
Gambar 3.18 *Bonding Jumper* 35
Gambar 3.19 *Ground Clip* 35
Gambar 3.20 *Cable Clip* 35
Gambar 3.21 *Adjustable Tilt* 36
Gambar 3.22 Tampilan Dekstop *Software* PVSyst 44
Gambar 3.23 Struktur penopang 59
Gambar 3.24 Pondasi *Mounting* Modul PV 60
Gambar 4.1Simulasi PvSyst 84
Gambar 4.2 Grafik Efisiensi Sistem 86

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Gambar 4.3 Biaya O&M untuk Empat Konfigurasi Sistem PLTS 103
Gambar 4.4 Nilai LCC untuk Empat Konfigurasi Sistem PLTS 104
Gambar 4.5 Nilai LCOE untuk Empat Konfigurasi Sistem PLTS..... 105
Gambar 4.6 Nilai NPV untuk Empat Konfigurasi Sistem PLTS 106
Gambar 4.7 Nilai PP untuk Empat Konfigurasi Sistem PLTS..... 107
Gambar 4.8 Nilai PI untuk Empat Konfigurasi Sistem PLTS..... 108
Gambar 4.9 Nilai IRR untuk Empat Konfigurasi Sistem PLTS..... 109
Gambar 4.10 Nilai ROI untuk Empat Konfigurasi Sistem PLTS 110
Gambar 4.11 Perbandingan Konsumsi Listrik, Produksi Energi PLTS, dan Pasokan Listrik dari PLN untuk Setiap Konfigurasi Sistem.....112
Gambar 4.12 Hubungan antara produksi energi listrik PLTS dan pengurangan emisi karbon 113
Gambar 4.13 Hubungan antara produksi energi listrik PLTS dan kredit karbon.114

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konsumsi Energi Harian 11
Tabel 2.2 Iradiasi Matahari di Marunda, Jakarta Utara 13
Tabel 3.1 Data Teknis Umum Kabel DC Untuk Sistem PLTS 27
Tabel 3.2 Data Teknis Umum Kabel AC 28
Tabel 3.3 Data Teknis Umum Kabel *Grounding* 29
Tabel 3.4 Kapasitas Hantar Arus Pada Kabel Tembaga 49
Tabel 3.5 Indeks A 55
Tabel 3.6 Indeks B 56
Tabel 3.7 Indeks C 56
Tabel 3.8 Indeks D 56
Tabel 3.9 Indeks E 57
Tabel 3.10 Indeks R 57
Tabel 4.1 Total Luas Area Masing – Masing Skenario 82
Tabel 4.2 Konfigurasi Sistem tiap Skenario 83
Tabel 4.3 Pemilihan inverter tiap skenario 84
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Pvsyst 85
Tabel 4.5 Perhitungan manual produksi energi tahunan 87
Tabel 4.6 Perbandingan Perhitungan Manual dan PvSyst 88
Tabel 4.7 Spesifikasi Modul Surya Trina 575 WP 93
Tabel 4.8 Spesifikasi inverter pada konfigusari 100% Supply 94
Tabel 4.9 Inverter yang dipilih untuk masing – masing Konfigurasi 94
Tabel 4.10 Jumlah Modul terencana semua konfigurasi 95
Tabel 4.11Proteksi pada bagian DC 96
Tabel 4.12 Proteksi pada bagian AC 97
Tabel 4.13 Perhitungan SPD setiap konfigurasi 98
Tabel 4.14 Estimasi energi tahunan setiap konfigurasi 99
Tabel 4.15 Ringkasan investasi awal sistem PLTS pada konfigurasi 1 100
Tabel 4.16 Ringkasan investasi awal sistem PLTS pada konfigurasi 2 101
Tabel 4.17 Ringkasan investasi awal sistem PLTS pada konfigurasi 3 101

Tabel 4.18 Ringkasan investasi awal sistem PLTS pada konfigurasi 4..... 102
Tabel 4.19 Ringkasan biaya O&M untuk 4 konfigurasi..... 102
Tabel 4.20 Ringkasan hasil analisa kelayakan ekonomi..... 103
Tabel 4.21 Ringkasan hasil analisa kontribusi penurunan emisi karbon.....111
Tabel 4.22 Pendekatan Visual Pengurangan Emisi Karbon di Konversi ke Jumlah Pohon.....116
Tabel 4.23 Simulasi sensitivitas parameter kelayakan ekonomi terhadap kredit karbon.....117
Tabel 4.24 *Job safety analysis*.....118

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Analisa Ekonomi Konfigurasi 1 134
Lampiran 2 Perhitungan Analisa Ekonomi Konfigurasi 2 137
Lampiran 3 Perhitungan Analisa Ekonomi Konfigurasi 3 140
Lampiran 4 Perhitungan Analisa Ekonomi Konfigurasi 4 143
Lampiran 5 Arus Kas Setelah Karbon Kredit 146
Lampiran 6 Data Sheet Modul PV 150
Lampiran 7 Data Sheet Inverter GW30K – MT 152
Lampiran 8 Data Sheet Inverter SUN 25K G05 154
Lampiran 9 Data Sheet Inverter GW20K – SDT 156
Lampiran 10 Data Sheet Inverter SGR 10 RT 158
Lampiran 11 Data Sheet Kabel Suntree 4 mm^2 160
Lampiran 12 Data Sheet Kabel Suntree 10 mm^2 161
Lampiran 13 Data Sheet Kabel Supreme NYFGBY 162
Lampiran 14 Desain Frame dan Struktur 163
Lampiran 15 Single Line Diagram 164

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Pertamina Hulu Energi *Off-shore Northwest Java* (PHE ONWJ) memiliki wilayah kerja pada Blok ONWJ yang membentang dari Kepulauan Seribu (DKI Jakarta) sampai ke Cirebon Utara (Jawa Barat). Sebagai sub-holding upstream dari PT. Pertamina (Persero) yang bergerak pada bidang eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi (Migas) lepas pantai, PHE ONWJ memiliki komitmen yang kuat terhadap pengembangan energi baru terbarukan (EBT) dan transisi energi di Indonesia. Dimana PHE ONWJ secara aktif mengintegrasikan prinsip – prinsip *Environmental, Social, and Governance* (EGS).

PHE telah menetapkan kebijakan keberlanjutan yang mengacu pada prinsip ESG, dengan tujuan mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) dan ambisi Pertamina untuk mencapai emisi nol bersih (*net zero emission*) pada tahun 2060. Strategi ini mencakup dekarbonisasi operasi, pengembangan bisnis dengan emisi karbon rendah, dan pelaksanaan program pengurangan karbon. Salah satu contohnya adalah pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada lokasi operasionalnya. PLTS dengan kapasitas 25-Megawatt Peak (MWp) dibangun di wilayah operasi PT Pertamina Hulu Rokan (PHR) di Rumbai, Duri, dan Dumai untuk mendukung operasional perusahaan dengan memanfaatkan energi surya.

Zero Energy Building (ZEB) semakin umum dijumpai beberapa tahun terakhir. ZEB dalam Bahasa Indonesia disebut dengan “Bangunan Tanpa Energi” adalah bangunan yang secara keseluruhan (*net*) tidak mengonsumsi energi listrik yang bersumber dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) maupun dari bahan bakar fosil[1]. Pada prinsipnya ZEB memaksimalkan penggunaan energi terbarukan yang berasal dari biomassa, matahari, biogas, air, dan angin.

Mengutip dari *Accelerating the Adoption of Energy Efficiency and Renewables in Warehouses and Distribution Centres* yang diterbitkan oleh *National*

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Renewable Energy Laboratory (NREL) of the U.S. Department of Energy, tren ZEB juga terlihat di sektor pergudangan Amerika Serikat. Sebagai contoh pergudangan yang dimiliki dan dioperasikan oleh IKEA secara rutin memperbarui bangunan pergudangan mereka dengan peralatan berteknologi mutakhir dan juga menggunakan sumber energi terbarukan untuk memenuhi sebagian kebutuhan energi mereka. Contoh lain adalah fasilitas pergudangan yang dimiliki oleh perusahaan ritel perlengkapan *outdoor* REI, yang memiliki luas area 400.000 kaki persegi, berhasil meraih sertifikasi LEED™ Platinum dan status nol energi. Perusahaan – perusahaan ini menyadari bahwa efisiensi energi sangat diperlukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari bangunan tersebut [2].

Pihak gudang PHE ONWJ menghubungi kami dengan permintaan untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tipe *on-grid* (*grid-tied system*) pada bangunan gudang B, C, D, dan E. Pemilihan sistem on-grid ini didasarkan pada pertimbangan jam operasional gudang yang berlangsung dari pukul 07.00 hingga 16.00, di mana pada rentang waktu tersebut intensitas sinar matahari berada pada kondisi optimal untuk menghasilkan energi listrik secara maksimal.

Dalam upaya mendukung transisi energi dan peningkatan pemanfaatan energi terbarukan, pemerintah Indonesia melalui Peraturan Menteri ESDM No. 2 Tahun 2024 telah mengatur tata cara pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terhubung ke jaringan tenaga listrik (*on-grid*) [3]. Salah satu poin penting dalam peraturan ini adalah penerapan sistem kuota dan klaster (*clustering*), yang bertujuan untuk menjaga keandalan sistem kelistrikan nasional. Melalui mekanisme ini, setiap wilayah sistem kelistrikan dibagi ke dalam beberapa klaster dengan kuota daya PLTS tertentu yang dapat dipasang oleh konsumen.

Dalam rangka memenuhi permintaan dari pihak klien terkait perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tipe *on-grid tied system* untuk bangunan gudang B, C, D, dan E, dan dengan mempertimbangkan ketentuan sistem klastering dan kuota PLTS sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri ESDM No.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2 Tahun 2024, kami merancang empat skenario konfigurasi sistem PLTS sebagai berikut:

1. Klien mendapat kuota 100%, sehingga seluruh kebutuhan listrik empat bangunan gudang dipenuhi oleh PLTS,
2. Klien mendapat kuota 75% dari total daya terpasang PLN, dan sisanya 25% dipenuhi oleh listrik PLN,
3. Klien mendapat kuota 50% dari total daya terpasang PLN, dan sisanya 50% dipenuhi oleh listrik PLN,
4. Klien mendapat kuota 25% dari total daya terpasang PLN, dan sisanya 75% dipenuhi oleh listrik PLN.

Dengan mempertimbangkan berbagai kemungkinan tersebut, tujuan dari proyek ini adalah untuk merancang sistem PLTS *on-grid* yang tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan energi listrik keempat bangunan gudang, tetapi juga memberikan alternatif solusi bagi klien apabila kuota pemasangan PLTS yang diperoleh tidak mencapai 100% dari daya terpasang yang tersedia dari PLN.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah dalam *Capstone Project* ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa total konsumsi energi listrik dari bangunan gudang B, C, D, dan E yang dapat dianalisis untuk perancangan sistem PLTS on-grid?
2. Bagaimana perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tipe *on-grid tied system* untuk masing-masing skenario, apabila kuota pemasangan PLTS yang diperoleh tidak mencapai 100% dari daya terpasang?
3. Bagaimana perancangan struktur penopang dan pondasi untuk modul fotovoltaik tipe *fixed grounded*?
4. Bagaimana analisis kelayakan ekonomi dari sistem PLTS *on-grid tied system* pada masing-masing skenario yang dirancang?

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Seberapa besar potensi pengurangan emisi karbon yang dihasilkan pada fase operasional untuk masing-masing skenario yang dirancang?

1.3 Tujuan Penelitian

Penulisan *Capstone Project* ini bertujuan untuk:

1. Menentukan total konsumsi energi listrik dari bangunan gudang B, C, D, dan E,
2. Merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tipe *on-grid tied system* untuk masing-masing skenario, apabila kuota pemasangan PLTS yang diperoleh tidak mencapai 100% dari daya terpasang,
3. Merancang struktur penopang dan pondasi untuk modul fotovoltaik tipe *fixed grounded*,
4. Melakukan analisis kelayakan ekonomi terhadap sistem PLTS *on-grid tied system* pada masing-masing skenario yang dirancang,
5. Mengestimasi potensi pengurangan emisi karbon yang dihasilkan pada setiap skenario penggantian pasokan listrik dari PLN dengan sistem PLTS pada fase operasional.

1.4 Manfaat Penelitian

Penulisan *Capstone Project* ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. **Bagi Klien:**

   Klien akan memperoleh rekomendasi perancangan sistem PLTS *on-grid tied system* yang sesuai dengan peraturan yang berlaku, khususnya terkait penerapan sistem klastering dan kuota pemasangan PLTS sebagaimana diatur dalam regulasi terbaru.

2. **Bagi Mahasiswa:**

   Capstone project merupakan salah satu syarat akademik yang harus diselesaikan oleh mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Energi dalam rangka menyelesaikan pendidikan pada jenjang Sarjana Terapan (D4). Melalui proyek ini, mahasiswa memperoleh kesempatan untuk menerapkan teori serta pengetahuan yang telah dipelajari selama masa perkuliahan ke dalam kondisi nyata di lapangan. Selain itu, *capstone project* juga memberikan pengalaman berharga dalam menganalisis berbagai aspek teknis dan ekonomi yang saling terintegrasi dalam sebuah proyek berbasis energi terbarukan.

3. **Bagi Politeknik Negeri Jakarta:**

   Melalui *capstone project* ini, institusi pendidikan dapat membangun dan mempererat hubungan kerja sama dengan masyarakat maupun pihak industri. Kerja sama ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut dalam bentuk konsultasi, penelitian, maupun pengembangan di bidang energi baru dan terbarukan.

1.5 Metodologi Penelitian

Penulisan *Capstone Project* ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yang diawali dengan kegiatan survei dan observasi langsung di lokasi pembangunan sistem PLTS *on-grid tied system* dengan struktur penyangga tipe *fixed grounded*. Selain itu, penulis juga melakukan studi pustaka sebagai landasan teori, salah satunya merujuk pada *Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat* yang disusun oleh Tetra Tech ES, Inc. Data yang diperoleh dari hasil survei lapangan dan literatur kemudian digunakan untuk melakukan perhitungan manual serta simulasi menggunakan perangkat lunak pendukung. Hasil perhitungan dan simulasi selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan hasil yang akurat dan komprehensif.

Adapun batasan masalah dalam *Capstone Project* ini meliputi:

1. Analisis dilakukan terhadap empat skenario konfigurasi sistem PLTS, yaitu:
   a. Klien mendapat kuota 100%, sehingga seluruh kebutuhan listrik empat bangunan gudang dipenuhi oleh PLTS,

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

b. Klien mendapat kuota 75% dari total daya terpasang PLN, dan sisanya 25% dipenuhi oleh listrik PLN,
c. Klien mendapat kuota 50% dari total daya terpasang PLN, dan sisanya 50% dipenuhi oleh listrik PLN,
d. Klien mendapat kuota 25% dari total daya terpasang PLN, dan sisanya 75% dipenuhi oleh listrik PLN.

2. Kajian yang dilakukan dalam proyek ini mencakup:
   a. Analisis kebutuhan energi listrik untuk bangunan gudang B, C, D, dan E,
   b. Perancangan struktur penopang dan pondasi untuk modul fotovoltaik tipe *fixed grounded*,
   c. Analisis kelayakan teknis dan ekonomi dari masing-masing skenario yang dirancang,
   d. Analisis potensi pengurangan emisi karbon yang dapat dicapai melalui penggantian sebagian pasokan listrik dari PLN dengan sistem PLTS pada fase operasional.

1.6 Sistematika Penulisan

Supaya memudahkan dalam memahami isi laporan *Capstone Project* ini, sistematika penulisan disusun sebagai berikut:

Bab I – Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang pelaksanaan *Capstone Project*, tujuan proyek, manfaat yang diharapkan bagi berbagai pihak terkait, metodologi yang digunakan dalam penyusunan laporan, serta sistematika penulisan laporan secara keseluruhan.

Bab II – Deskripsi Situasi Awal

Bab ini menyajikan informasi mengenai kondisi awal lokasi sebelum dilakukan perancangan sistem PLTS. Uraian mencakup kapasitas daya tersambung saat ini, kondisi awal beban listrik, hasil pengukuran area yang direncanakan untuk

pemasangan PLTS, pengamatan potensi shading di lokasi pemasangan modul surya, serta data iradiasi matahari pada area tersebut.

Bab III – Metodologi

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan pada *Capstone Project*. Penjelasan mencakup diagram alur kegiatan, penyusunan jadwal proyek (termasuk kegiatan pengukuran dan observasi di lokasi), teknik analisis data serta metode perhitungannya. Selain itu, juga disampaikan tinjauan pustaka yang memuat ringkasan teori dan referensi yang mendukung proses perancangan dan analisis dalam proyek ini.

Bab IV – Hasil dan Diskusi

Bab ini memuat hasil analisis sistem berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran dan observasi lapangan, analisis kelayakan ekonomi, serta estimasi potensi pengurangan emisi karbon yang dihasilkan dari penerapan sistem PLTS pada lokasi proyek.

Bab V – Rekomendasi untuk Klien

Bab terakhir ini menyampaikan kesimpulan dari hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan. Selain menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan, bagian ini juga memuat rekomendasi teknis dan opini yang relevan untuk klien sebagai dasar pertimbangan dalam implementasi sistem PLTS yang dirancang.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V
REKOMENDASI UNTUK CLIENT

5.1 Kesimpulan

1. **Desain Teknis dan Efisiensi**

   PLTS on-grid tied dirancang dalam empat konfigurasi kapasitas (100%, 75%, 50%, dan 25%) dengan total kapasitas masing-masing 69 kWp, 48.3 kWp, 32.2 kWp, dan 18.4 kWp. Efisiensi sistem tertinggi tercapai pada konfigurasi 100% sebesar 98.46%, sedangkan terendah sebesar 95.42% pada konfigurasi 25%, menunjukkan bahwa sistem layak secara teknis di semua skenario.

2. **Produksi Energi**

   Total energi yang dihasilkan selama 25 tahun bervariasi dari 599,254.73 kWh (konfigurasi 4) hingga 2,247,205.23 kWh (konfigurasi 1), yang semakin mendekati kebutuhan energi tahunan bangunan sebesar 91.7 MWh. Kinerja sistem menunjukkan performansi rasio (PR) sekitar 83%.

3. **Biaya dan Investasi**

   Biaya investasi awal tertinggi pada konfigurasi 1 sebesar Rp 906,505,485 sedangkan biaya terendah pada konfigurasi 4 sebesar Rp 637,827,388. Biaya operasional dan pemeliharaan selama 25 tahun berkisar antara Rp 85 juta hingga Rp 121 juta, sebanding dengan kapasitas sistem.

4. **Analisis Ekonomi**

   a. NPV seluruh konfigurasi negatif (misalnya -Rp 32,835,399.83 untuk konfigurasi 1), mengindikasikan proyek belum layak secara finansial dengan suku bunga 5.5%.

   b. IRR seluruh skenario sekitar 5.08%–5.12%, masih di bawah tingkat diskonto, menunjukkan tingkat pengembalian tidak memenuhi syarat investasi minimum.

   c. *Payback Period* sama untuk semua konfigurasi, yaitu 14 tahun, yang berarti proyek mulai memberikan keuntungan bersih setelah tahun ke-14.

   d. ROI rata-rata sekitar 76%, namun tidak mencerminkan profitabilitas tanpa mempertimbangkan nilai waktu uang.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. **Kontribusi Lingkungan**
   a. Konfigurasi 1 menghasilkan pengurangan emisi karbon tertinggi, yakni 1,860.09 ton CO_2e, disusul konfigurasi 2 sebesar 1,312.23 ton, dan konfigurasi 4 paling rendah dengan 499.90 ton dalam kurun waktu 25 tahun umur proyek PLTS.
   b. Kredit karbon dapat menghasilkan potensi pendapatan non-operasional sebesar Rp 71–267 juta dalam kurun waktu 25 tahun umur proyek PLTS, tergantung konfigurasi jika dijual di pasar karbon dengan harga Rp 144,000.00 per ton.
6. **Analisis Strategis**
   Bila nilai kredit karbon diperhitungkan ke dalam arus kas proyek, maka NPV dan ROI dapat meningkat dan menjadikan proyek lebih menarik secara ekonomi. PLTS bukan hanya instrumen pembangkitan energi, tetapi juga sarana mitigasi iklim dan sumber nilai tambah finansial melalui skema carbon offset

5.2 Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis teknis, ekonomis, dan lingkungan yang telah dilakukan, kami merekomendasikan kepada klien untuk memilih konfigurasi PLTS on-grid dengan kapasitas 100% dari total beban listrik bangunan gudang B, C, D, dan E. Pilihan ini dinilai paling optimal karena mampu menghasilkan total energi listrik sebesar 2.247.205 kWh selama 25 tahun, yang sepenuhnya dapat menggantikan konsumsi energi dari PLN pada jam operasional gudang. Dengan demikian, klien tidak hanya memperoleh kemandirian energi selama jam kerja, tetapi juga mengurangi ketergantungan terhadap pasokan dari jaringan eksternal, yang berisiko mengalami fluktuasi harga dan gangguan suplai.

Dari sisi teknis, konfigurasi ini menunjukkan efisiensi sistem tertinggi, yakni sebesar 98,46%, serta performansi sistem yang stabil dengan *Performance Ratio* (PR) 83%, yang menandakan bahwa sistem mampu mengonversi potensi iradiasi matahari di lokasi Marunda secara maksimal menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan. Selain itu, desain struktur mounting yang menggunakan sistem fixed grounded dengan orientasi optimal ke utara memungkinkan penyerapan radiasi

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

matahari secara konsisten sepanjang tahun, tanpa hambatan shading yang signifikan.

Dari sisi lingkungan, konfigurasi 100% memberikan pengurangan emisi karbon paling besar, yaitu sebesar 1.860,09 ton CO_2e selama umur proyek. Nilai tersebut ekuivalen dengan aksi penanaman lebih dari 3.300 pohon beringin dewasa. Jika dimonetisasi melalui skema perdagangan karbon sukarela, potensi pendapatan tambahan mencapai lebih dari Rp 267 juta, yang dapat digunakan sebagai kompensasi terhadap biaya investasi awal.

Walaupun analisis kelayakan ekonomi menunjukkan bahwa indikator IRR (5,12%) masih sedikit di bawah suku bunga acuan saat ini (5,75%), potensi penghematan biaya listrik bulanan, insentif kredit karbon, dan pengurangan biaya emisi di masa depan menjadikan konfigurasi ini strategis dan visioner dalam jangka panjang. Selain mendukung komitmen klien terhadap transisi energi dan ESG (*Environmental, Social, Governance*), konfigurasi 100% juga menyiapkan perusahaan untuk menghadapi dinamika kebijakan energi ke depan, termasuk peluang net metering dan tarif insentif EBT yang terus berkembang.

Dengan mempertimbangkan seluruh aspek tersebut, konfigurasi 100% tidak hanya unggul secara teknis dan ramah lingkungan, tetapi juga menunjukkan prospek nilai tambah ekonomi yang menjanjikan dalam jangka panjang, sehingga layak dipilih sebagai prioritas implementasi oleh klien.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

[1] E. D. Magdalena and L. Tondobala, "Implementasi Konsep Zero Energy Building (ZEB) Dari Pendekatan Eco-Friendly Pada Rancangan Arsitektur," *MEDIA MATRASAIN* , vol. 13, no. 1, 2016.

[2] C. Bianchi, M. Rois Langner, V. Mishra, and P. Torcellini, "Accelerating the Adoption of Energy Efficiency and Renewables in Warehouses and Distribution Centers," 2023. [Online]. Available: https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/83583.pdf.

[3] *Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Yang Terhubung Pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Untuk Kepentingan Umum*. Indonesia: MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA, 2024.

[4] S. F. Nanra, "Analisis Pengaruh Iradiasi Matahari dan Suhu Permukaan terhadap Kinerja Panel Surya pada String Inverter 9 PLTS 1 MWp Batam. Syntax Literate," vol. 9, no. 9, 2024, doi: 10.36418/syntax-literate.v9i8.

[5] G. Abdelaziz, H. Hichem, B. R. Chiheb, and G. Rached, "Shading effect on the performance of a photovoltaic panel," in *2021 IEEE 2nd International Conference on Signal, Control and Communication (SCC),* 2021.

[6] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering Processes and Systems Second Edition*. 2014. [Online]. Available: http://store.elsevier.com/

[7] "Buku Panduan Perencanaan Pembangunan Opersional dan Pemeliharaan PLTS Atap".

[8] B. Kencana *et al.*, *Panduan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat*. Jakarta, 2018.

[9] P. Gawhade and A. Ojha, "Recent advances in synchronization techniques for grid-tied PV system: A review," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 6581–6599, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.09.006.

[10] Deye, "What are the key differences between on-grid inverters and off-grid inverters?"

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

[11] Pvsysy SA, *Grid Connected Systems My first project*.

[12] D. G. . Newnan, T. G. . Eschenbach, and J. P. . Lavelle, *Engineering economic analysis*. Oxford University Press, 2012.

[13] M. N. Qosim and R. Hariyati, "Kajian Kelayakan Finansial Fotovoltaik Terintegrasi On Grid Dengan Kapasitas 20 kWp," *KILAT*, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, Apr. 2021, doi: 10.33322/kilat.v10i1.544.

[14] A. Abu-Rummah, I. Muslih, and mahmoud A. Barghash, "Life Cycle Costing of PV Generation System," 2017.

[15] S. Gautam, D. B. Das, and A. K. Saxena, "Economic indicators evaluation to study the feasibility of a solar agriculture farm: A case study," *Solar Compass*, vol. 10, p. 100074, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.solcom.2024.100074.

[16] N. Rugthaicharoencheep, N. Ruangsap, and S. Nedphokaew, "Shortening the Payback Period of Greenhouse Gas Reduction Benefits from Photovoltaic Rooftop Systems," *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 23, Dec. 2024, doi: 10.3390/en17236159.

[17] N. Saddari, N. S. Agyemang Derkyi, and F. Peprah, "Technical and Economic analysis of solar PV electricity generation under the net metering scheme at Sunyani Teaching Hospital (STH), Ghana," *Renewable and Sustainable Energy Transition*, vol. 6, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.rset.2024.100097.

[18] A. Firdaus and U. Amrina, "Estimating the cost of producing grid-connected solar PV in Indonesia," in *BIO Web of Conferences*, EDP Sciences, Feb. 2025. doi: 10.1051/bioconf/202515903004.

[19] D. Avianto Setiawan and H. Purnomo, "Comparison of Investment Analysis Using Net Present Value (NPV) With Internal Rate Return (Irr) In Lamb Abattoir Businesses In Geraldton, Australia," *Journal of Scientific Development for Studies and Research (JSD)*, [Online]. Available: https://orcid.org/0009-0004-1308-8045

[20] ISO, *International Standard 14064-1*. 2018.

[21] ISO, *International Standard 14064-2*. 2019.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

[22] "No Nama Grid Provinsi Total Pembangkit OM (ton CO2/MWh) BM (ton CO2/MWh) Faktor Emisi (ton CO2/MWh) CM Ex=Post CM Ex-Ante BM=0,25 (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10)," 2019.

[23] M. Stucki, M. Götz, and M. De Wild-Scholten, "Environmental Life Cycle Assessment of Electricity from PV systems-2023 data update," 2024. [Online]. Available: www.lifecycleinitiative.org

[24] Bank Indonesia, "Cadangan Devisa Indonesia Tetap Tinggi," *Bank Indonesia*, 7 Nov. 2025. [Online]. Tersedia: https://www.bi.go.id/id/publikasi/ruang-media/news-release/Pages/sp_2711125.aspx. [Diakses: 12-Jun-2025]

[25] A. Rambaradellangga, N. Herlina, and Ariffin, Analisis kemampuan RTH dalam mereduksi CO2 dan suhu udara serta pengaruhnya terhadap tingkat kenyamanan kampus Universitas Brawijaya, *Jurnal Produksi Tanaman*, vol. 6, no. 10, pp. 2482–2490, Oct. 2018.

[26] Tempo.co, "RI Resmi Luncurkan Perdagangan Karbon Internasional, Harga Rp 96 Ribu dan Rp 144 Ribu per Ton," *Tempo.co*, 26 Juni 2024. [Online]. Tersedia: https://www.tempo.co/ekonomi/ri-resmi-luncurkan-perdagangan-karbon-internasional-harga-rp-96-ribu-dan-rp-144-ribu-per-ton-1196430. [Diakses: 12-Jun-2025].

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA