



© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PEMODELAN DAN SIMULASI ARSITEKTUR *MODEL*
PREDICTIVE CONTROL UNTUK PENJADWALAN
PENGISIAN BATERAI SPBKLU *MOBILE* PNJ
BERBASIS DATA HISTORIS MULTI STASIUN**

SKRIPSI

Oleh:
I Made Yudi Esa Taruna
NIM. 2202431012

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JUNI 2026



© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PEMODELAN DAN SIMULASI ARSITEKTUR *MODEL*
PREDICTIVE CONTROL UNTUK PENJADWALAN
PENGISIAN BATERAI SPBKLU *MOBILE* PNJ
BERBASIS DATA HISTORIS MULTI STASIUN**

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan
Teknik Mesin

Oleh:
I Made Yudi Esa Taruna
NIM. 2202431012

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JUNI 2026



© 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PEMODELAN DAN SIMULASI ARSITEKTUR *MODEL*
PREDICTIVE CONTROL UNTUK PENJADWALAN PENGISIAN
BATERAI SPBKLU *MOBILE* PNJ BERBASIS DATA HISTORIS
MULTI STASIUN**

Oleh:

I Made Yudi Esa Taruna

NIM. 2202431012

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc.

NIP. 197512222008121003

Bayun Matsaany, S.Stat., M.Sc.

NIP. 199404212023212044

Kepala Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Arifia Ekayuliana., S.T., M.T.

NIP. 199107212018032001



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**PEMODELAN DAN SIMULASI ARSITEKTUR *MODEL*
PREDICTIVE CONTROL UNTUK PENJADWALAN PENGISIAN
BATERAI SPBKLU *MOBILE* PNJ BERBASIS DATA HISTORIS
MULTI STASIUN**

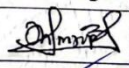
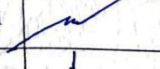
Oleh:

I Made Yudi Esa Taruna
NIM. 2202431012

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

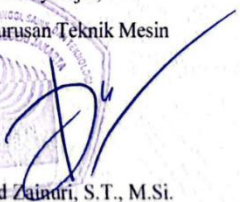
Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan (Skripsi) di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 13 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh
gelar Sarjana Terapan (Diploma-IV) Pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi
Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi	Tanda Tangan	Tanggal
1	P. Jannus, S.T., M.T.	Penguji		22/7/2026
2	Ir. Rosidi, S.T., M.T.	Penguji		21/7/26
3	Bayun Matsaany, S.Stat., M.Sc.	Moderator		22/7-2026

Menyetujui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zaindri, S.T., M.Si.

NIP. 197602252000121002



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : I Made Yudi Esa Taruna

NIM : 2202431012

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (Plagiasi) karya orang lain Sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi yang telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 13 Juli 2026



I Made Yudi Esa Taruna
NIM. 2202431012



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PEMODELAN DAN SIMULASI ARSITEKTUR *MODEL PREDICTIVE CONTROL* UNTUK PENJADWALAN PENGISIAN BATERAI SPBKLU *MOBILE* PNJ BERBASIS DATA HISTORIS MULTI STASIUN

I Made Yudi Esa Taruna¹, Sonki Prasetya^{1,2}, Bayun Matsaany³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Center for Conversion, Conservation and Applied Renewable Energies (CARE), Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Email: i.made.yudi.esa.taruna.tm22@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRAK

Keterbatasan kapasitas inverter hibrida 5 kW pada SPBKLU Mobile PNJ berisiko menimbulkan kelebihan beban akibat beban potensial pengisian baterai yang mencapai 8,4 kW. Masalah ini diperparah oleh intermitensi PLTS dan ketidakpastian permintaan.. Penelitian ini merancang arsitektur manajemen energi berbasis Model Predictive Control (MPC) yang terintegrasi dengan peramalan machine learning (XGBoost, Prophet, LightGBM) menggunakan data historis riil 43 stasiun. Batas kapasitas inverter diformulasikan sebagai hard constraint melalui Mixed-Integer Linear Programming (MILP). Hasil simulasi menunjukkan strategi MPC berhasil mengeliminasi risiko overload dengan tingkat pelanggaran batas 0%. Pada skenario permintaan rata-rata, MPC mampu menghemat biaya listrik jaringan sebesar 17,67% dengan Quality of Service (QoS) 100%. Pada permintaan puncak, MPC meningkatkan keandalan layanan menjadi 62,03% dibandingkan kontroler baseline yang hanya mencapai 58,23%, sekaligus memotong tagihan energi sebesar 2,45%. Sistem ini terbukti andal menjamin keamanan infrastruktur fisik dan mengoptimalkan profitabilitas operasional SPBKLU.

Kata Kunci: SPBKLU, MPC, Pengisian Baterai, PLTS, Manajemen Energi, XGBoost, Prophet, LightGBM



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PEMODELAN DAN SIMULASI ARSITEKTUR *MODEL PREDICTIVE CONTROL* UNTUK PENJADWALAN PENGISIAN BATERAI SPBKLU *MOBILE* PNJ BERBASIS DATA HISTORIS MULTI STASIUN

I Made Yudi Esa Taruna¹, Sonki Prasetya^{1,2}, Bayun Matsuany³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Center for Conversion, Conservation and Applied Renewable Energies (CARE), Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Email: i.made.yudi.esa.taruna.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRACT

The limited capacity of the 5 kW hybrid inverter at PNJ's Mobile SPBKLU (Mobile Battery Swap Station) poses a risk of overload due to potential battery charging loads reaching 8.4 kW. This problem is exacerbated by the intermittency of the solar PV system (PLTS) and demand uncertainty. This research designs an energy management architecture based on Model Predictive Control (MPC) integrated with machine learning forecasting (XGBoost, Prophet, LightGBM) using real historical data from 43 stations. The inverter capacity limit is formulated as a hard constraint through Mixed-Integer Linear Programming (MILP). Simulation results show that the MPC strategy successfully eliminated overload risk, with a 0% constraint violation rate. Under the average demand scenario, MPC achieved grid electricity cost savings of 17.67% with 100% Quality of Service (QoS). Under peak demand, MPC increased service reliability to 62.03%, compared to the baseline controller which only reached 58.23%, while also cutting energy costs by 2.45%. This system is proven reliable in ensuring physical infrastructure safety and optimizing the operational profitability of the SPBKLU.

Keywords: SPBKLU, MPC, Battery Charging, Solar PV, Energy Management, XGBoost, Prophet, LightGBM



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur diucapkan kehadiran Tuhan YME atas segala rahmat-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir ini dengan judul **“Pemodelan Dan Simulasi Arsitektur Model Predictive Control Untuk Penjadwalan Pengisian Baterai Spbklu Mobile Pnj Berbasis Data Historis Multi Stasiun”** dapat tersusun sampai dengan selesai. Penulisan Laporan ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan program tingkat akhir Diploma IV Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi.

Tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak terkait yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan ini dengan benar, antara lain:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ibu Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi.
3. Bapak Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc. dan Ibu Bayun Matsaany, S.Stat., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, meluangkan waktu lebih untuk proses penyusunan skripsi dari awal hingga selesai.
4. Orangtua, dan saudara saya yang selalu memberikan do'a dan motivasi serta semangat materil maupun moril dalam penyusunan skripsi.
5. Teman-teman dari rekkatek dan seangkatan program studi saya yang selalu mensupport dalam penyusunan skripsi ini.
6. Terima kasih untuk diri sendiri, yang sudah bertanggung jawab untuk berusaha menyelesaikan yang sudah dimulai.

Penulis sangat berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi Politeknik Negeri Jakarta maupun pihak terkait.

Depok, 13 Juli 2026

I Made Yudi Esa Taruna



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Pertanyaan Penelitian	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.5.1 Tujuan Umum.....	5
1.5.2 Tujuan Khusus	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.6.1 Manfaat Teoritis	5
1.6.2 Manfaat Praktis	5
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Landasan Teori	7
2.1.1 Sistem Baterai.....	7



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.2 Sistem Energi Hybrid (PLTS-Grid)	9
2.1.3 Model Prediksi.....	13
2.1.4 Model Predictive Control (MPC)	16
2.1.5 Teknik Evaluasi dan Validasi Model Prediksi	17
2.2 Kajian Literatur	20
2.3 Kajian Sistem	23
2.3.1 Stasiun Penukaran Baterai Kendaraan Listrik Umum	23
2.3.2 Perangkat Lunak Pemodelan dan Simulasi.....	25
2.4 Kerangka Pemikiran.....	26
2.5 Hipotesis.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Jenis Penelitian.....	30
3.2 Identifikasi Masalah	31
3.3 Studi Literatur	32
3.4 Objek Penelitian.....	33
3.5 Metode Pengambilan Sampel.....	34
3.6 Jenis dan Sumber Data Penelitian	35
3.7 Metode Pengumpulan Data	35
3.8 Metode Analisa & Pemrosesan Data.....	37
3.8.1 Pemrosesan Data.....	38
3.8.2 Formulasi Model Predictive Control	59
3.8.3 Pemodelan Sistem SPBKL di Simulink	63
3.8.4 Skenario Pengujian Simulasi & Evaluasi Kinerja Sistem	66
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	70



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1	Hasil Model Prediksi.....	70
4.1.1	Hasil Prediksi Iradiasi Matahari (XGBoost)	70
4.1.2	Hasil Prediksi Demand rata-rata (Prophet).....	74
4.1.3	Hasil Prediksi Demand Puncak/Worst-Case (LightGBM)	77
4.2	Validasi Hard Constraint dan Profil Sistem	80
4.2.1	Skenario & Konfigurasi Simulasi.....	81
4.2.2	Profil Alokasi Daya.....	83
4.2.3	Validasi Kepatuhan Inverter	85
4.2.4	Profil SoC	86
4.3	Evaluasi Efektivitas MPC vs Baseline.....	88
4.3.1	Evaluasi Biaya Operasional.....	88
4.3.2	Evaluasi Quality of Service (QoS)	90
BAB V	PENUTUP	92
5.1	Kesimpulan	92
5.2	Saran.....	93
DAFTAR	PUSTAKA	94
LAMPIRAN		99



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik pengisian CC-CV pada baterai Li-Ion.....	7
Gambar 2. 2 Grafik arus terhadap tegangan pv	10
Gambar 2. 3 SPBKLU 8 slot	24
Gambar 2. 4 Diagram Kerangka Pemikiran	27
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3. 2 Grafik GHI terhadap waktu dalam 24 jam.....	31
Gambar 3. 3 Grafik permintaan swap terhadap waktu	32
Gambar 3. 4 Single Line Diagram Sistem SPBKLU PNJ	33
Gambar 3. 5 Pemilihan data di solcast	36
Gambar 3. 6 Diagram sistem pengukuran efisiensi <i>charger</i>	37
Gambar 3. 7 Diagram aliran data.....	37
Gambar 3. 8 <i>Heatmap</i> korelasi pearson variabel data solcast	39
Gambar 3. 9 <i>Bar chart</i> korelasi GHI terhadap variabel lainya.....	40
Gambar 3. 10 Alur pemrosesan data historis stasiun	41
Gambar 3. 11 Grafik <i>demand</i> dari 10 stasiun (agregasi 62 hari).....	43
Gambar 3. 12 Grafik rata-rata, puncak dan total <i>demand</i> dalam 62 hari.....	44
Gambar 3. 13 Grafik rata-rata, puncak dan total <i>demand</i> dalam 7 hari.....	44
Gambar 3. 14 Distribusi outlier pada rata-rata, puncak dan total demand ..	45
Gambar 3. 15 <i>Heatmap</i> karakteristik demand (hari dalam minggu vs jam)	46
Gambar 3. 16 Grafik perbandingan rata - rata total <i>demand</i> (<i>weekday vs weekend vs holiday</i>).....	46
Gambar 3. 17 Alur pemrosesan data iradiasi	49
Gambar 3. 19 Distribusi nilai GHI	50



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3. 18 Grafik GHI dalam satu minggu	50
Gambar 3. 20 Distribusi GHI berdasarkan jam	51
Gambar 3. 21 Grafik rata-rata GHI perbulan.....	52
Gambar 3. 22 Top 10 fitur dengan korelasi tertinggi terhadap GHI setelah <i>feature engineering</i>	55
Gambar 3. 23 Gambar grafik efisiensi charger terhadap soc baterai <i>swap</i>	56
Gambar 3. 24 <i>Datasheet</i> solar panel solana.....	57
Gambar 3. 25 <i>Datasheet</i> baterai VRLA	58
Gambar 3. 26 Rancangan sistem PLTS simulink	64
Gambar 3. 27 Rancangan <i>bus</i> dc simulink	65
Gambar 3. 28 Operasi untuk <i>bus</i> dc.....	65
Gambar 4. 1 Diagram pengujian model prediksi.....	70
Gambar 4. 2 Konfigurasi <i>hyperparameter</i> model XGBoost	71
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan GHI (<i>actual vs predicted</i>).....	72
Gambar 4. 4 Fitur terpenting dalam prediksi GHI.....	72
Gambar 4. 5 Konfigurasi model prophet	74
Gambar 4. 6 Grafik dekomposisi prophet	75
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan rata – rata permintaan (<i>predicted vs actual</i>)	76
Gambar 4. 8 Grafik perbandingan LightGBM Q95 vs Q99 vs <i>actual</i>	77
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan <i>pinball loss</i> (Q95 vs Q99).....	78
Gambar 4. 10 Grafik area yang di cover LightGBM pada Q95 dan Q99....	79
Gambar 4. 11 Skema simulasi kontrol baseline SPBKLU	81
Gambar 4. 12 Skema simulasi kontrol MPC SPBKLU	82
Gambar 4. 13 Profil alokasi <i>supply</i> daya PLTS, PLN dan <i>buffer</i>	84



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 14 Grafik daya inverter terhadap waktu dalam kondisi <i>demand</i> puncak.....	85
Gambar 4. 15 Dinamika SoC pada masing – masing skenario.....	87
Gambar 4. 16 Perbandingan total biaya PLN	89
Gambar 4. 17 Perbandingan QoS pada keempat skenario.....	90





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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Biaya Energi Surya dengan PLN dalam 20 tahun	12
Tabel 2. 2 Hasil kajian literatur	20
Tabel 3. 1 Hasil Uji Kecukupan Data	38
Tabel 3. 2 Contoh data mentah historis stasiun	41
Tabel 3. 3 Contoh hasil ETL & preprocessing data historis stasiun	43
Tabel 3. 4 Fitur yang ditambahkan ke data <i>demand</i>	47
Tabel 3. 5 Fitur yang ditambahkan pada data iradiasi	53
Tabel 4. 1 Contoh Hasil Pemrosesan Data Iradiasi.....	70
Tabel 4. 2 Hasil pengujian XGBoost dalam memprediksi GHI	73
Tabel 4. 3 Hasil pengujian prophet dalam memprediksi permintaan rata-rata	76
Tabel 4. 4 Evaluasi metrik error lightgbm pada Q95 dan Q99	78
Tabel 4. 5 Perbandingan model LightGBM vs prophet pada 92 titik puncak lebih dari 90%.....	79
Tabel 4. 6 Konfigurasi parameter simulasi	82
Tabel 4. 7 Jumlah pelanggaran batas inverter.....	86
Tabel 4. 8 Total pendapatan dan profitl pada masing – masing skenario	88
Tabel 4. 9 Evaluasi Quality of Service dan profit bersih	90



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 Penelitian

Berdasarkan perjanjian karbon global di paris pada tahun 2015, Indonesia sepakat untuk berkontribusi terhadap program dekarbonisasi (Dharmasisya & Gambut, 2021). Sektor transportasi diidentifikasi sebagai salah satu kontributor emisi karbon terbesar, dengan 24.63% dari total emisi nasional (ISMO, 2025 - IESR, n.d.; PT Astra International Tbk, n.d.). Menurut data BPS tahun 2023 jumlah kendaraan bermotor mencapai 83.7% dari total seluruh kendaraan (BPS, 2023). Sebagai langkah konkret, pemerintah Indonesia melalui Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 membuat program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (KBLBB) (Indonesia, 2019; Kurnia & Sudarti, 2021). Hal ini menyebabkan Stasiun Penukaran Baterai Kendaraan Listrik Umum (SPBKLU) yang merupakan salah satu infrastruktur pendukung, mengalami akselerasi pertumbuhan (Dharmawan et al., 2021). Tingginya sumbangsih sektor energi terhadap emisi Gas Rumah Kaca (GRK), membuat munculnya inovasi SPBKLU yang menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi utama (Alviannanda & Lystianingrum, 2024; Kementerian, 2019)

Tantangan fundamental dalam operasional SPBKLU berbasis PLTS terletak pada dua ketidakpastian. Pertama, integrasi sumber energi terbarukan, khususnya PLTS, memperkenalkan pasokan daya yang bergantung pada iradiasi matahari dan kondisi cuaca yang tidak menentu (Dong dkk., 2025; Samsurizal, 2021). Kedua, adalah ketidakpastian permintaan penukaran baterai dari sisi pengguna. Permintaan ini tidak bersifat deterministik maupun seragam sepanjang hari, melainkan dipengaruhi oleh pola perjalanan, waktu kerja, serta kondisi lalu lintas, yang membentuk

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

fluktuasi kedatangan pengguna secara dinamis (Das dkk., 2023; Fu dkk., 2022; Sun dkk., 2019; C. Wu dkk., 2021).

Masalah utama dalam penelitian-penelitian sebelumnya adalah ketergantungan pada data historis spesifik lokasi yang seringkali tidak tersedia, atau penggunaan asumsi kedatangan pengguna yang bersifat seragam, yang gagal menangkap ketidakpastian kedatangan pengguna (Sarker dkk., 2025; H. Wu, 2022). Padahal, profil permintaan SPBKLU sangat dipengaruhi oleh pola mobilitas urban yang dinamis (Zu & Sun, 2022). Hal ini bisa mengakibatkan kegagalan dalam melayani permintaan, di mana pengguna datang namun tidak tersedia baterai penuh, yang berdampak fatal pada kepuasan pelanggan dan profitabilitas bisnis SPBKLU (Fauziah dkk., 2025; Setiawan dkk., 2023).

Penelitian ini menggunakan studi kasus pada unit SPBKLU *Mobile* PNJ, sebuah stasiun pengisian daya *hybrid* yang dirancang untuk ditempatkan di berbagai lokasi strategis (Prasetya dkk., 2022). Unit ini memiliki spesifikasi teknis yang mencakup 8 slot pengisian daya dengan kapasitas *charger* 1.2 kW per slot, disuplai oleh sistem *hybrid* yang terdiri dari inverter 5 kW, modul PV dengan total kapasitas 2.7 kWp, serta 4 *buffer battery* VRLA 12V 200Ah yang di rangkai seri. Jika metode pengisian konvensional membiarkan pengisian secara bersamaan pada daya penuh, total beban akan mencapai 8.4 kW, yang akan memicu kondisi *overload* pada inverter. Mengingat unit ini belum beroperasi secara komersial, penelitian ini difokuskan pada persiapan strategi penjadwalan sebagai langkah awal. Tujuannya adalah merancang sistem kontrol yang terbukti secara simulasi mampu menghasilkan keuntungan operasional yang lebih tinggi, namun tetap memperhatikan keamanan sistem.

Berbagai pendekatan optimasi telah diterapkan untuk menyelesaikan masalah operasional SPBKLU, mulai dari Mixed-Integer Linear Programming (MILP), Markov Decision Process (MDP) hingga algoritma heuristik seperti Genetic Algorithm dan Grey Wolf Optimizer (Ali dkk., 2025;

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

Cui dkk., 2023; Prasetya dkk., 2025; Putra dkk., 2023). Metode-metode heuristik dan optimasi statis ini relatif efektif pada skenario deterministik atau profil permintaan yang stabil, tetapi menunjukkan keterbatasan ketika dihadapkan pada lingkungan yang sangat dinamis dan stokastik karena keputusan yang tidak mempertimbangkan *prediction horizon* (Cui dkk., 2023). Di sisi lain, pendekatan berbasis *Reinforcement Learning* dan *Deep Reinforcement Learning* telah diusulkan untuk menangani ruang keadaan berdimensi tinggi dan adaptivitas, namun pendekatan tersebut umumnya memerlukan pelatihan intensif dan sulit diinterpretasikan dalam kerangka kontrol yang menuntut keamanan (An dkk., 2023; Jin dkk., 2023; Terven, 2025).

Dalam menghadapi dinamika waktu nyata dan kebutuhan akan kontrol yang dapat memenuhi batasan teknis dan operasional, pendekatan berbasis *Model Predictive Control* (MPC) menjadi alternatif yang lebih adaptif dan terstruktur dibandingkan metode konvensional. Model MPC dua lapis telah terbukti mampu mengoordinasikan beban permintaan dan pasokan energi secara real-time dengan mempertimbangkan prediksi jangka pendek, menghasilkan performa sistem yang lebih stabil dan efisien (Tang dkk., 2024). Pendekatan *data-driven* MPC juga menunjukkan keunggulan dalam mengantisipasi fluktuasi permintaan atau gangguan sistem melalui prediksi berbasis data historis (Rani & Priya, 2024). Dalam konteks SPBKL, strategi ini dapat diadaptasi untuk mengelola penjadwalan pengisian ulang dan pemanfaatan energi secara dinamis dengan mempertimbangkan kapasitas terbatas.

Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih terbatas pada skenario SPBKL stasioner yang menggunakan data buatan (sintetis) atau pola permintaan seragam, sehingga belum tentu mampu menggambarkan situasi riil pada operasional SPBKL *Mobile* di lapangan. Ini berdampak langsung pada penurunan revenue karena kontrol yang tidak dapat memenuhi permintaan riil. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk

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

mengoptimalkan manajemen energi pada unit SPBKL *Mobile* PNJ guna mengurangi biaya operasional listrik sekaligus mengeliminasi risiko kelebihan beban (*overload*) pada inverter. Target tersebut dicapai melalui perancangan arsitektur *Model Predictive Control* (MPC) yang mengintegrasikan model prediksi berbasis algoritma XGBoost, LightGBM dan Prophet. Strategi kendali prediktif ini memanfaatkan data historis riil selama 62 hari dengan resolusi interval 15 menit dari stasiun 43 stasiun, sehingga mampu mengantisipasi sifat stokastik kedatangan pengguna dan intermitensi PLTS secara akurat dengan tetap mematuhi batasan ketat kapasitas inverter fisik stasiun.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Belum tersedianya model prediktif berbasis data historis yang mampu memetakan ketidakpastian permintaan pengguna dan pasokan iradiasi matahari secara akurat pada SPBKL *Mobile* PNJ.
2. Tingginya risiko *overload* pada komponen fisik akibat total kapasitas beban pengisian seluruh slot (8.4 kW) yang melampaui batas maksimal daya inverter *hybrid* (5 kW).
3. Terjadinya ketidakefisienan biaya operasional pada SPBKL akibat belum adanya sistem kontrol terpusat yang mampu mengoptimalkan *trade-off* antara pemanfaatan energi PLTS dan energi PLN (Tarif B1) secara *real-time*.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap terfokus dan dapat diselesaikan dengan mendalam, diberikan batasan masalah sebagai berikut:

- 1 Objek penelitian adalah sistem SPBKL *Mobile* PNJ dengan 8 slot *charging* independen, kapasitas *charger* 1.2 kW/slot, PLTS 2.7 kWp, inverter *hybrid* 5 kW, dan baterai *buffer* VRLA 48V 200Ah.

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 Aspek degradasi baterai (*State of Health*) tidak diperhitungkan. Baterai yang kembali dari pengguna diasumsikan memiliki SoC 20%.
- 3 *Prediction horizon* ditetapkan selama 6 jam dengan langkah waktu (*time-step*) setiap 15 menit.
- 4 Penelitian ini berfokus pada pengembangan model simulasi dan kebijakan kontrol, tidak mencakup implementasi pada perangkat keras fisik (*hardware*) SPBKLU.
- 5 *Baseline* adalah strategi konvensional yang langsung mengisi daya baterai segera setelah terpasang tanpa mempertimbangkan prediksi masa depan.

1.4 Pertanyaan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Bagaimana merancang model prediksi permintaan penukaran baterai dan ketersediaan iradiasi matahari yang akurat dengan memanfaatkan data historis Stasiun XYZ?
2. Bagaimana membangun algoritma *Model Predictive Control* (MPC) yang mengintegrasikan fungsi tujuan dan batasan operasional (*constraints*) untuk mencegah terjadinya kondisi *overload* pada inverter?
3. Bagaimana mengevaluasi performa algoritma MPC dalam meminimalkan biaya operasional SPBKLU dibandingkan dengan metode *baseline* yang reaktif?

1.5 Tujuan Penelitian

1.5.1 Tujuan Umum

Tujuan umum yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengoptimalkan penjadwalan pengisian baterai pada SPBKLU *Mobile PNI* menggunakan algoritma *Model Predictive Control* (MPC) terintegrasi prediksi data historis, guna meminimalkan biaya operasional dan mencegah kelebihan beban (*overload*) pada kapasitas daya inverter.

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

1.5.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus untuk mencapai tujuan umum tersebut, ditetapkan tujuan khusus penelitian sebagai berikut:

1. Merancang model prediktif untuk memproyeksikan dinamika iradiasi matahari dan permintaan penukaran baterai dengan *error rate* maksimum 10%.
2. Membangun algoritma *Model Predictive Control* (MPC) untuk optimasi penjadwalan pengisian baterai dengan memformulasikan batasan teknis (*hard constraints*) batas aman inverter.
3. Mengevaluasi efektivitas algoritma MPC dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi PLTS dan PLN (Tarif B1) untuk menurunkan biaya operasional, jika dibandingkan dengan metode *baseline*.

1.6 Manfaat Penelitian

1.6.1 Manfaat Teoritis

1. Memberikan kontribusi ilmiah mengenai penerapan MPC pada manajemen energi SPBKLU skala kecil dengan sumber energi terbarukan.
2. Memperkaya literatur mengenai penelitian terkait optimasi penjadwalan yang bertujuan meningkatkan profit dalam bisnis SPBKLU.

1.6.2 Manfaat Praktis

- 1 Memberikan rekomendasi strategi operasional bagi pengelola SPBKLU *Mobile PNJ* untuk meningkatkan profit.
- 2 Menjadi landasan pengembangan sistem manajemen energi untuk infrastruktur kendaraan listrik di lingkungan kampus atau perkotaan.

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi ini disusun sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.



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. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori dasar mengenai sistem SPBKLU, sistem PLTS, algoritma *machine learning* (XGBoost, LightGBM, Prophet), konsep *Model Predictive Control* (MPC), sintesis *gap analysis* dari kajian penelitian terdahulu yang relevan, kajian sistem, kerangka pemikiran dan hipotesis hasil penelitian.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menguraikan jenis penelitian kuantitatif komparatif, spesifikasi objek SPBKLU *Mobile PNJ*, metode pengambilan sampel, serta teknik pengumpulan data telemetri. Bab ini diakhiri dengan metode analisa data, yang mengintegrasikan pemrosesan awal data mentah sampai siap dilatih, formulasi matematis fungsi objektif dan batasan kontroler MPC, hingga penetapan skenario pengujian simulasi.

4. BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil model prediksi, grafik visualisasi hasil peramalan iradiasi dan *demand*, serta analisis evaluasi performa komparatif antara algoritma MPC dengan metode *baseline* reaktif berdasarkan indikator reduksi biaya operasional, kepatuhan batasan daya inverter, dan kualitas pelayanan (*Quality of Service*).

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan menyeluruh dari hasil pengujian sistem untuk menjawab pertanyaan penelitian serta saran strategis untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

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

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perumusan masalah, tujuan penelitian, serta pengujian yang telah dilakukan pada sistem simulasi penjadwalan SPBKLU *Mobile* PNJ, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Model prediktif yang dirancang telah berhasil memproyeksikan dinamika iradiasi matahari dan permintaan penukaran baterai. Model XGBoost terbukti sangat akurat memprediksi iradiasi matahari dengan nilai rRMSE sebesar 6,57% (di bawah target maksimum error 10%) dan RMSE 12,88 W/m². Untuk prediksi permintaan skenario rata-rata, Prophet menghasilkan estimasi yang stabil dengan error absolut yang sangat kecil (MAE 0,117 *swaps/interval*). Namun, terdapat pengecualian pada prediksi permintaan skenario beban puncak, secara empiris algoritma Prophet justru mengungguli LightGBM pada persentil 90 (P90). Meskipun demikian, LightGBM tetap dipertahankan pada skenario ekstrem karena sifatnya yang secara sengaja melebih-lebihkan tebakan (*overestimate*) terbukti krusial untuk memberikan *safety margin* bagi sistem MPC agar tidak meremehkan kebutuhan daya.
2. Perancangan algoritma *Model Predictive Control* (MPC) berbasis *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) berhasil memformulasikan batasan teknis batas aman kapasitas sistem fisik. Selama simulasi berlangsung di seluruh skenario uji, MPC mencatatkan 0 pelanggaran (0% error), terbukti mampu secara mutlak menjaga total beban daya tidak pernah melampaui batas aman inverter 5 kW. Berbeda dengan metode reaktif *baseline* yang mengamankan sistem secara kaku dengan mekanisme potong daya tiba-tiba, MPC mampu meregulasi beban energi dengan jauh lebih halus dan proaktif,

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

sehingga berpotensi menurunkan tekanan *thermal stress* jangka panjang pada inverter.

3. Algoritma MPC terbukti jauh lebih unggul dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi surya dan menekan tagihan listrik PLN (Tarif B1) dibandingkan *baseline*.
 - a. Pada skenario permintaan rata-rata, MPC mampu melakukan *load shifting* cerdas ke jam siang (saat PLTS optimal), menghasilkan penghematan biaya operasional PLN sebesar 17,67% sembari mempertahankan pelayanan atau QoS sempurna 100%.
 - b. Pada skenario permintaan puncak ekstrem, MPC mampu mendistribusikan daya baterai secara spesifik (tidak membagi rata seperti *baseline*), sehingga meningkatkan QoS menjadi 62,03% vs *baseline* 58,23%. Dengan tetap memberikan penghematan listrik PLN sebesar 2,45%. Secara total, profit bersih tertinggi di segala kondisi berhasil dicapai oleh strategi MPC.

5.2 Saran

Berdasarkan batasan serta hasil evaluasi selama penelitian ini berlangsung, terdapat beberapa saran untuk menyempurnakan penelitian-penelitian selanjutnya:

1. Eksplorasi Model Prediksi *Deep Learning*

Karena LightGBM terbukti kesulitan menangkap nilai ekstrem (*outlier*) secara akurat pada data kedatangan pengguna dan dikalahkan oleh model dasar Prophet, studi selanjutnya disarankan untuk menguji metode *deep learning* (seperti LSTM, GRU, atau *Hybrid CNN-LSTM*). Hal ini diharapkan dapat memberikan estimasi puncak waktu nyata yang lebih tajam dibandingkan algoritma berbasis *decision-tree*.

2. Integrasi Faktor Degradasi Baterai (*State of Health*)

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

Pada penelitian ini, penyederhanaan model dilakukan dengan tidak memperhitungkan degradasi umur (SoH) dari baterai *swap* maupun baterai *buffer*. Mengingat biaya penggantian baterai adalah aspek utama di bisnis ini, *objective function* dari kontrol optimasi MPC ke depannya perlu ditambahkan dengan fungsi penalti untuk menekan biaya degradasi akibat *charging* atau *discharging*.

3. Penerapan dan Validasi pada Perangkat Keras Fisik

Penelitian ini secara khusus berfokus pada simulasi perangkat lunak menggunakan lingkungan MATLAB/Simulink. Sebagai tindak lanjut, disarankan agar kode optimasi *Model Predictive Control* ini diimplementasikan ke dalam *microcontroller* pada unit fisik SPBKLU PNJ untuk melakukan pengujian secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberizzi, J. C., Fatehi, M., & Renzi, M. (2025). Photovoltaic-integrated *battery swapping* stations: An optimization tool for operational scheduling. *Energy Reports*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.11.076>
- Ali, M. I., Mandal, R. K., & Kumar, A. (2025). Optimization of *battery swapping* station for electric vehicles by novel adaptive GWO algorithm. *Energy*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.137348>
- Alviannanda, T., & Lystianingrum, V. (2024). *Business Model Innovation of Off Grid Public Electric Vehicles Battery Swap Station with Solar Powered*. *E3S Web of Conferences*, 500. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450003028>



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

- An, D., Cui, F., & Kang, X. (2023). Optimal scheduling for *charging* and *discharging* of electric vehicles based on deep reinforcement learning. *Frontiers in Energy Research*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1273820>
- Borjigin, C. (2023). Python data science. Dalam *Python Data Science*. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-7702-2>
- Camacho E. F. and Bordons, C. (2007). Introduction to *Model Predictive Control*. Dalam *Model Predictive Control* (hlm. 1–11). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-398-5_1
- Constant Current – Constant Voltage Charging - Battery Design*. (t.t.). Diambil 24 Januari 2026, dari <https://www.batterydesign.net/constant-current-constant-voltage-charging/>
- Cui, D., Wang, Z., Liu, P., Wang, S., Dorrell, D. G., Li, X., & Zhan, W. (2023). Operation optimization approaches of electric vehicle *battery swapping* and *charging* station: A literature review. Dalam *Energy* (Vol. 263). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126095>
- Das, B. K., Panda, R., Deb, S., Goswami, A. K., & Tiwari, P. K. (2023). Probabilistic Modeling of Plug-in Electric Vehicles *Charging Demand* and *Charging Cost Minimization*. *2023 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy: Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy for Sustainable Development, PESGRE 2023*. <https://doi.org/10.1109/PESGRE58662.2023.10404532>
- Dharmasisya, D., & Gambut, ; Ndc) Seb Agaiimplement Asi Paris Agreement Terkait Restorasi Lahan. (2021). Civil Law Commons, Commercial Law Commons, Constitutional Law Commons, Contracts Commons, Criminal Law Commons, and the International Law Commons Recommended Citation Recommended Citation Panggabean. Dalam *KESIAPAN INDONESIA DALAM MEMENUHI NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION* (Vol. 1).



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

<https://scholarhub.ui.ac.id/dharmasisya> Available at: <https://scholarhub.ui.ac.id/dharmasisya/vol1/iss1/21>

Dharmawan, I. P., Kumara, I. N. S., & Budiastra, I. N. (2021). PERKEMBANGAN INFRASTRUKTUR PENGISIAN BATERAI KENDARAAN LISTRIK DI INDONESIA. *Jurnal SPEKTRUM*, 8(3). <https://doi.org/10.24843/spektrum.2021.v08.i03.p12>

Dong, X. J., Shen, J. N., Ma, Z. F., & He, Y. J. (2025). Stochastic optimization of integrated electric vehicle *charging* stations under photovoltaic uncertainty and *battery power constraints*. *Energy*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134163>

Fauziah, N. E., Romdlony, M. Z., Muharam, A., & Yakub, F. (2025). RHO–LSTM-based optimal scheduling at the motorcycle *battery swapping* station under *battery* heterogeneity. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 16(1). <https://doi.org/10.55981/j.mev.2025.1172>

Fu, Z., Zhu, W., Zhu, J., Yuan, Y., Feng, Y., & Wang, H. (2022). *Battery swapping demand* prediction of electric taxis and *charging* optimization strategy of *battery swapping* station under “electric taxi-battery-traffic-station” interconnection. *Dianli Zidonghua Shebei/Electric Power Automation Equipment*, 42(10). <https://doi.org/10.16081/j.epae.202204030>

Hyndman Rob J. and George Athanasopoulos. (2018). *Forecasting: Principles and Practice*. Dalam *Forecastin: Principles of Optimal Design*.

IEA-PVPS. (2024). *Best practice guidelines for the use of economic and technical KPIs 2024 PVPS Task 13 Reliability and Performance of Photovoltaic Systems*. www.iea-pvps.org

Indonesia, P. R. (2019). Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 Tentang Percepatan program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) Untuk Transportasi Jalan. *Republik Indonesia*, (55).



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

Indonesia Sustainable Mobility Outlook (ISMO) 2025 - IESR. (t.t.). Diambil 23 Januari 2026, dari <https://iesr.or.id/pustaka/indonesia-sustainable-mobility-outlook-ismo-2025/>

Jamaluddin, T. A. A., Syamroni, A. W., & Husnayain, F. (2025). *Grid Impact of Battery Swapping Station for Electric Two-Wheelers in Indonesia. International Journal of Electrical, Computer, and Biomedical Engineering*, 3(3). <https://doi.org/10.62146/ijecbe.v3i3.130>

Jin, J., Mao, S., & Xu, Y. (2023). Optimal Priority Rule-Enhanced Deep Reinforcement Learning for *Charging Scheduling in an Electric Vehicle Battery Swapping Station. IEEE Transactions on Smart Grid*, 14(6). <https://doi.org/10.1109/TSG.2023.3250505>

Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Provinsi dan Jenis Kendaraan (unit), 2023 - Tabel Statistik - Badan Pusat Statistik Indonesia. (t.t.). Diambil 23 Januari 2026, dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/VjJ3NGRGa3dkRk5MTIU1bVNFOTVVbmQyVURSTVFUMDkjMw==/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-provinsi-dan-jenis-kendaraan--unit---2022.html?year=2022>

Kementerian, E. dan S. D. M. (2019). *Inventarisasi Emisi GRK Sektor Energi. Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.*

Ko, H., Pack, S., & Leung, V. C. M. (2022). An Optimal *Battery Charging Algorithm in Electric Vehicle-Assisted Battery Swapping Environments. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(5). <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3038274>

Kurnia, A., & Sudarti. (2021). Efek Rumah Kaca Oleh Kendaraan Bermotor. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 4(2).

Mayfield, Ryan. (2010). *Photovoltaic design & installation for dummies.* Wiley.



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

- Moler, C., & Little, J. (2020). A history of MATLAB. *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, 4(HOPL). <https://doi.org/10.1145/3386331>
- Nanjundeswaraswamy, T. S., & Divakar, S. (2021). DETERMINATION OF SAMPLE SIZE AND *SAMPLING* METHODS IN APPLIED RESEARCH. *Proceedings on Engineering Sciences*, 3(1), 25–32. <https://doi.org/10.24874/PES03.01.003>
- Permana, A. F., Prasetya, S., & E.S, Y. M. D. (2022). Studi Pendahuluan Sistem PLTS Off Grid Sebagai Sumber *Mobile* SPBKLU. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, 1(1).
- Pla, B., Bares, P., Aronis, A., & Perin, A. (2025). *Demand-Adapting Charging Strategy for Battery-Swapping Stations. Batteries*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/batteries11070251>
- Prasetya, S., Prasetyono, E., Nugroho, M. A. B., Sunarno, E., Rizki, M. F., Rahman, H., Tullah, M. H., Fadil, J., Suprianto, T., & Hayusman, L. M. (2025). IMPLEMENTATION OF INTERLEAVED BI-DIRECTIONAL DC-DC CONVERTER WITH MULTI STAGE CONSTANT CURRENT CHARGING BASED ON FUZZY CONTROL FOR DISTURBANCE-RESISTANT ELECTRIC VEHICLE BATTERY SWAPPING STATIONS. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(5). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.342160>
- PT Astra International Tbk. (t.t.). Diambil 23 Januari 2026, dari <https://www.astra.co.id/blogs-and-articles/emisi-gas-rumah-kaca>
- Putra, M. I. S., Hisjam, M., & Jauhari, W. A. (2023). An Optimization Model for Electric Motorcycle *Battery Swapping Station* in Indonesia: A Case Study. *E3S Web of Conferences*, 465. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346502042>



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

- Rani, G. S. A., & Priya, P. S. L. (2024). Data-Driven *Model Predictive Control* for Hybrid Charging Stations Using Ensemble Learning. *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, 5(10). <https://doi.org/10.1109/TAI.2024.3404913>
- Rizopoulos, D. (2018). Max Kuhn and Kjell Johnson. Applied Predictive Modeling. New York, Springer. *Biometrics*, 74(1). <https://doi.org/10.1111/biom.12855>
- Ryan, M., & Massaron, L. (2025). *Machine learning* for Tabular Data: XGBoost, Deep Learning, and AI. Dalam *Manning Publications*.
- Samsurizal. (2021). *Buku PLTS*. 6–7.
- Sarker, M. T., Al Qwaid, M., Shern, S. J., & Ramasamy, G. (2025). AI-Driven Optimization Framework for Smart EV Charging Systems Integrated with Solar PV and BESS in High-Density Residential Environments. *World Electric Vehicle Journal*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/wevj16070385>
- Setiawan, A. D., Zahari, T. N., Anderson, K., Moeis, A. O., & Hidayatno, A. (2023). Examining the effectiveness of policies for developing battery swapping service industry. *Energy Reports*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.03.121>
- Shalaby, A. A., Shaaban, M. F., Mokhtar, M., Zeineldin, H. H., & El-Saadany, E. F. (2022). A Dynamic Optimal Battery Swapping Mechanism for Electric Vehicles Using an LSTM-Based Rolling Horizon Approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(9). <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3138892>
- Sun, H., Yang, J., & Yang, C. (2019). A robust optimization approach to multi-interval location-inventory and recharging planning for electric vehicles. *Omega (United Kingdom)*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.06.013>
- Tang, M., Zhang, C., Zhang, Y., Yan, Y., Wang, W., & An, B. (2024). A Dual-Layer MPC of Coordinated Control of Battery Load Demand and Grid-Side Supply



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

Matching at Electric Vehicle Swapping Stations. *Energies*, 17(4). <https://doi.org/10.3390/en17040879>

Terven, J. (2025). Deep Reinforcement Learning: A Chronological Overview and Methods. *AI (Switzerland)*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/ai6030046>

The MathWorks - MATLAB & SIMULINK. (2008). *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 6(4). <https://doi.org/10.1109/mcas.2006.264832>

Wu, C., Lin, X., Sui, Q., Wang, Z., Feng, Z., & Li, Z. (2021). Two-stage self-scheduling of battery swapping station in day-ahead energy and frequency regulation markets. *Applied Energy*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116285>

Wu, H. (2022). A Survey of Battery Swapping Stations for Electric Vehicles: Operation Modes and Decision Scenarios. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8). <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3125861>

Yaghoubi, E., Yaghoubi, E., Jahromi, M. Z., Maghami, M. R., Paşaoğlu, A., & Chamorro, H. R. (2025). A novel data-driven NLMPC strategy for techno-economic microgrid management with battery energy storage under uncertainty. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13906-3>

Zeng, M., Pan, Y., Zhang, D., Lu, Z., & Li, Y. (2019). Data-Driven Location Selection for Battery Swapping Stations. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2941901>

Zu, S., & Sun, L. (2022). Research on location planning of urban charging stations and battery-swapping stations for electric vehicles. *Energy Reports*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.206>

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

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data sampel historis permintaan baterai swap dari 3 stasiun indeks pertama

timestamp_15m	[1056] Planet Ban Lenteng Agung	[1280] SPBU Pertamina Margonda	[1312] Alfamidi Raya RTM
2026- 05-22 05:45:00	0	0	2
2026- 04-15 15:30:00	1	3	0
2026- 04-28 05:00:00	1	0	0
2026- 04-19 07:00:00	0	1	0
2026- 04-20 09:15:00	2	2	1
2026- 05-27 08:45:00	0	2	0



© 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

2026-04-21 18:15:00	1	0	0
2026-04-25 07:00:00	1	0	0
2026-03-29 20:00:00	2	0	0
2026-04-27 08:15:00	1	1	1

Lampiran 2 Data sampel historis permintaan baterai swap dari 3 stasiun indeks keempat

	[1374] Alfamart Margonda 4	[1376] Alfamart Citayam Ratu Jaya	[1395] Alfamart Cipayung Jaya Depok
timestamp_15 m			
2026-04-28 04:30:00	0	2	0
2026-04-19 07:30:00	2	1	2



© 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

202 6-04-18 00:45:00	0	0	0
202 6-04-26 16:15:00	0	3	1
202 6-04-07 21:15:00	0	0	0
202 6-05-06 04:45:00	3	1	0
202 6-04-30 17:45:00	0	1	0
202 6-04-11 16:00:00	0	3	0
202 6-03-30 03:15:00	0	1	0
202 6-05-08 00:15:00	0	4	0

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

Lampiran 3 Data sampel historis permintaan baterai swap dari 3 stasiun indeks ketujuh

timestamp_15m	[1456] Alfamidi RTM 2	[1701] Alfamart Depok Cilangkap	[1775] Dan+Dan Jagakarsa
2026 -05-01 03:00:00	1	0	0
2026 -03-29 19:00:00	0	0	0
2026 -04-11 18:00:00	2	0	0
2026 -04-23 05:45:00	0	0	0
2026 -04-18 15:30:00	1	0	0
2026 -05-24 03:15:00	1	0	0
2026 -05-12 05:30:00	1	1	1

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

2026 -05-12 03:30:00	0	1	2
2026 -05-08 13:15:00	1	2	0
2026 -05-26 06:15:00	1	0	

Lampiran 4 *Snippet* kode untuk fungsi *training* model prediksi GHI

```
def train_irradiance_model(data_file_path, output_model_path="xgboost_irradiance_model.json"):

    # Preprocessing & downsampling (5 min -> 15 min)
    print("\nMemulai proses Downsampling menjadi 15 menit...")
    df['period_end'] = pd.to_datetime(df['period_end'])
    df = df.set_index('period_end')
    df = df.resample('15min').mean(numeric_only=True).reset_index()
    print(f>Data setelah downsampling 15-menit: {len(df)} baris.")

    # Remove data leakage columns
    leakage_columns = ['dni', 'dhi', 'gti', 'clearsky_ghi', 'clearsky_dhi', 'clearsky_dni', 'clearsky_gti']
    existing_leakage = [col for col in leakage_columns if col in df.columns]
    df.drop(columns=existing_leakage, inplace=True, errors='ignore')
    print(f"Fitur leakage yang berhasil dibuang: {existing_leakage}")

    # Feature engineering (time & autoregressive lags)
    print("Mengekstrak fitur waktu dan Lag Features...")
    df['hour'] = df['period_end'].dt.hour
    df['month'] = df['period_end'].dt.month
    df['ghi_lag_96'] = df['ghi'].shift(96) # GHI 24 jam yang lalu (pola harian)
    df.dropna(inplace=True)
```

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 5 *Snippet* kode untuk fungsi *training* model prediksi *demand*

```
# Feature engineering - time features
df['hour'] = df.index.hour
df['minute'] = df.index.minute
df['dayofweek'] = df.index.dayofweek
df['is_weekend'] = (df['dayofweek'] >= 5).astype(int)
df['slot_of_day'] = df['hour'] * 4 + df['minute'] // 15

# Feature engineering - holiday features
INDONESIA_HOLIDAYS_2026 = [
    '2026-04-03', '2026-04-05', '2026-05-01', '2026-05-14',
    '2026-05-15', '2026-05-27', '2026-05-28'
]
holiday_dates = set(pd.to_datetime(INDONESIA_HOLIDAYS_2026).date)
df['is_holiday'] = df.index.date.apply(lambda d: 1 if d in holiday_dates else 0)

# Feature engineering - lag features
for lag in [1, 2, 4, 96]:
    df[f'lag_max_{lag}'] = df['Max_Demand'].shift(lag)
    df[f'lag_avg_{lag}'] = df['Avg_Demand'].shift(lag)
```

Lampiran 6 *Snippet* kode untuk fungsi MPC

```
function [P_change_cmd, P_PLN_cmd, P_buf_chg_cmd, P_buf_dis_cmd, P_curtail_cmd, s_cmd, exitflag, solver_msg] = ...
    mpc_solver_internal(soC_slot_act, soC_buf_act, PV_forecast, Demand_forecast, params)

N = params.N;
n_slot = 8;
C_short = 1e9;

f_chg = (params.eta_chg * params.Ts / params.Q_max) * 100;
f_buf_chg = (params.eta_buf_chg * params.Ts / params.E_buf_total) * 100;
f_buf_dis = (params.Ts / (params.eta_buf_dis * params.E_buf_total)) * 100;

vars_per_step = 38;
n_total = N * vars_per_step;

idx_Pchange = @(t,i) (t-1)*vars_per_step + i;
idx_PPLN = @(t) (t-1)*vars_per_step + 9;
idx_Pbufchg = @(t) (t-1)*vars_per_step + 10;
idx_Pbufdis = @(t) (t-1)*vars_per_step + 11;
idx_SoCslot = @(t,i) (t-1)*vars_per_step + 11 + i;
idx_SoCbuf = @(t) (t-1)*vars_per_step + 20;
idx_shortage = @(t) (t-1)*vars_per_step + 21;
idx_Pcurtail = @(t) (t-1)*vars_per_step + 22;
idx_s = @(t,i) (t-1)*vars_per_step + 22 + i;
idx_y = @(t,i) (t-1)*vars_per_step + 30 + i;
```

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

Lampiran 7 *Snippet* kode untuk fungsi *baseline*

```
greedy_baseline_controller_internal(SoC_slot_act, SoC_buf_act, PV_act_k, params)

    n_slot = 8;
    P_chg_max = params.P_chg_max;
    P_inv_max = params.P_inv_max;
    P_buf_max = params.P_buf_max;
    SoC_buf_min = params.SoC_buf_min;

    eta_PV = params.eta_PV;
    eta_PLN = params.eta_PLN;
    eta_chg = params.eta_chg;
    eta_buf_chg = params.eta_buf_chg;
    eta_buf_dis = params.eta_buf_dis;

    P_PLTS_eff = PV_act_k * eta_PV;

    %% Alokasi charger
    P_charge_cmd = zeros(n_slot, 1);
    [~, sort_idx] = sort(SoC_slot_act, 'ascend');
    sisa_inv = P_inv_max;
    charged_count = 0;
    for k = 1:n_slot
        i = sort_idx(k);
        %% Pembatas 7 slot
        if SoC_slot_act(i) < 100 && sisa_inv > 0 && charged_count < 7
            P_alloc = min(P_chg_max, sisa_inv);
```



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 RIWAYAT HIDUP



1. Nama Lengkap : I Made Yudi Esa Taruna
2. NIM : 2202431012
3. Tempat, Tanggal Lahir : Jakarta, 31 Januari 2004
4. Jenis Kelamin : Laki-laki
5. Alamat : Jl Tiga Putra no.6
RT/RW 03/04 Kecamatan Limo, Kota Depok
6. Email : i.made.yudi.esa.taruna.tm22@mhsw.pnj.ac.id
7. Pendidikan
 - a. SD : SDN Parung Bingung 01
 - b. SMP : SMPN 9 Depok
 - c. SMA : SMA Tadika Pertiwi



© 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

8. Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Reakayasa
Konversi Energi
9. Bidang Peminatan : Sistem Kontrol

