



**PENGEMBANGAN SISTEM *PREDICTIVE ANALYTICS*
BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN
LSTM SEQUENCE TO SEQUENCE PADA SISTEM
*PLTS OFF-GRID***

SKRIPSI

Oleh:

UMAR ABDUL HAKIM ROBBANI

NIM. 2202431003

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI, 2026**



**PENGEMBANGAN SISTEM *PREDICTIVE ANALYTICS*
BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN
LSTM SEQUENCE TO SEQUENCE PADA SISTEM
*PLTS OFF-GRID***

SKRIPSI

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan
Teknik Mesin

Oleh:

UMAR ABDUL HAKIM ROBBANI

NIM. 2202431003

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

JULI, 2026



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

SKRIPSI

**PENGEMBANGAN SISTEM PREDICTIVE ANALYTICS BERBASIS
INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN LSTM SEQUENCE TO
SEQUENCE PADA SISTEM PLTS OFF-GRID**

Oleh:

Umar Abdul Hakim Robbani

NIM. 2202431003

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc.
NIP. 197512222008121003

Pembimbing 2

Cecep Slamet Abadi , S.T., M.T.
NIP. 196605191990031002

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

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI

**PENGEMBANGAN SISTEM PREDICTIVE ANALYTICS BERBASIS
INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN LSTM SEQUENCE TO
SEQUENCE PADA SISTEM PLTS OFF-GRID**

Oleh:

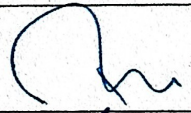
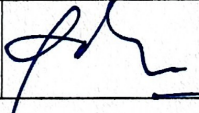
Umar Abdul Hakim Robbani

NIM. 2202431003

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 15 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

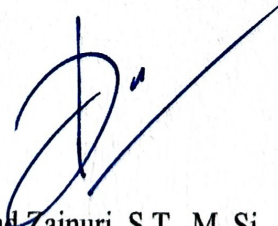
DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Arifia Ekayuliana, S.T., M.T.. NIP. 199107212018032001	Ketua Sidang		
2.	Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T.. NIP. 199403192022031006	Penguji 1		
3.	Rahmat Subarkah, S.T., M.T.. NIP. 197601202003121001	Penguji 2		

Depok, 15 Juli 2026

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zainuri, 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

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi berjudul “PENGEMBANGAN SISTEM *PREDICTIVE ANALYTICS* BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGGUNAKAN *LSTM SEQUENCE TO SEQUENCE* PADA SISTEM PLTS *OFF-GRID*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan skripsi ini tak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karenanya, penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr., Fuad Zainuri , S.T., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ibu Arifia Ekayuliana , S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi yang telah memberikan dukungan selama masa studi.
3. Bapak Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing pertama, yang juga telah mengajarkan fondasi ilmu *Internet of Things* (IoT) kepada penulis, atas segala arahan dan waktunya.
4. Bapak Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah banyak memberikan bimbingan teknis dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si., M.Eng. selaku dosen Statistik yang telah memberikan wawasan terkait pengolahan data penelitian.
6. Segenap dosen penguji sidang skripsi yang telah memberikan evaluasi dan saran yang membangun naskah ini.
7. Kepada PT Solusi Rekka Teknindo yang telah memberi dukungan dan bantuan. Kalau untuk aksi, referensi jurnal ilmiahnya darimana saja ya untuk pv, baterai, dan inverter.



© 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

8. Prof. Andrew Ng dari *Stanford University* (melalui *Coursera*), yang ilmu *Machine Learning*-nya telah menjadi landasan algoritma pada sistem penelitian ini.
9. Bapak Joe Reis dari *Amazon Web Services* (AWS), atas panduan praktis dan fundamental keilmuan *Data Engineering* yang esensial bagi pengembangan arsitektur data skripsi ini.
10. Kedua orang tua, keluarga, dan teman yang senantiasa memberikan dukungan moral maupun material kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun diharapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang rekayasa energi terbarukan.

**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

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Umar Abdul Hakim Robbani
NIM : 2202431003
Program Studi : Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang tertulis di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi, telah dikutip dan dirujuk sesuai dengan etika ilmiah.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 15 Juli 2025



Umar Abdul Hakim Robbani
NIM: 2202431003



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

PENGEMBANGAN SISTEM *PREDICTIVE ANALYTICS* BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGUNAKAN *LSTM SEQUENCE* TO *SEQUENCE* PADA SISTEM PLTS *OFF-GRID*

Umar Abdul Hakim Robbani¹⁾, Sonki Prasetya^{1,2*)}, Cecep Slamet Abadi³⁾

¹⁾Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16424

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

³⁾Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16424

Email: sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T) memiliki tantangan tingginya waktu untuk mendeteksi gangguan akibat pemantauan yang masih bersifat berkala dan manual. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem *predictive analytics* berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan algoritma *Long Short-Term Memory (LSTM) Sequence to Sequence* untuk memprediksi performa dan sisa usia pakai komponen panel surya, baterai, dan inverter. Metodologi yang digunakan ialah perancangan *data pipeline* dari inverter dan *Application Programming Interface (API)* cuaca ke *database*, pelatihan model *LSTM Seq2Seq* untuk memetakan data historis menjadi proyeksi performa ke depan, dan visualisasi hasil analitik. Hasil pengujian menunjukkan arsitektur memiliki akurasi tinggi pada komponen bersiklus stabil dengan persentase *Root Mean Square Error (RMSE)* tegangan PV di bawah 9% dan tegangan baterai sebesar 4,48%. Walau prediksi pada inverter mengalami *error* yang lebih tinggi akibat volatilitas data lapangan, algoritma tetap mampu mengekstraksi pergeseran tren degradasi. Kesimpulannya, sistem ini berhasil mentransformasi data menjadi *dashboard* pemeliharaan preskriptif yang proaktif dalam mengestimasi waktu menuju ambang batas perbaikan, sehingga efektif mereduksi risiko *unplanned downtime*.

Kata Kunci: PLTS, *Internet of Things*, *predictive analytics*, LSTM, sisa usia pakai



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

PENGEMBANGAN SISTEM *PREDICTIVE ANALYTICS* BERBASIS *INTERNET OF THINGS* MENGUNAKAN *LSTM SEQUENCE* *TO SEQUENCE* PADA SISTEM PLTS *OFF-GRID*

Umar Abdul Hakim Robbani¹⁾, Sonki Prasetya^{1,2*)}, Cecep Slamet Abadi³⁾

¹⁾Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16424

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

³⁾Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok, 16424

Email: sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

ABSTRACT

Off-grid solar power plants in underdeveloped, frontier, and outermost regions face the challenge of long fault-detection times due to reliance on periodic, manual monitoring. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based predictive analytics system utilizing a Long Short-Term Memory (LSTM) Sequence-to-Sequence algorithm to predict the performance and remaining useful life of solar panels, batteries, and inverters. The methodology involves designing a data pipeline from inverters and weather APIs to a database, training an LSTM Seq2Seq model to map historical data into future performance projections, and visualizing the analytics results. Testing results demonstrate that the architecture achieves high accuracy for components with stable cycles, with Root Mean Square Error (RMSE) percentages of under 9% for PV voltage and 4.48% for battery voltage. Although inverter predictions exhibited higher error rates due to field data volatility, the algorithm successfully captured shifts in degradation trends. In conclusion, the system effectively transforms data into a prescriptive maintenance dashboard that proactively estimates the time remaining until repair thresholds are reached, thereby reducing the risk of unplanned downtime.

Keywords: solar power plants, Internet of Things, predictive analytics, LSTM, remaining useful life



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.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR ORISINALITAS.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian.....	3
1.3. Pertanyaan Penelitian.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Landasan Teori.....	6
2.1.1. Data Engineering Architecture.....	6
2.1.2. Internet of Things (IoT).....	8
2.1.3. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	10
2.1.4. Predictive Analytics.....	12
2.1.5. Machine Learning.....	13
2.1.6. Supervised Learning.....	13
2.1.7. Deep Learning.....	13
2.1.8. Long Short Term Memory (LSTM).....	13
2.1.9. Sequence to Sequence.....	18
2.1.10. Time Distributed Dense Layer.....	19
2.1.11. Optimisasi Adam (Adaptive Moment Estimation).....	20
2.1.12. Monitoring.....	20
2.1.13. Statistik.....	20
2.1.14. Augmentasi Data Berbasis Matematika.....	23
2.1.15. Remaining Useful Life.....	24



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

2.2. Kajian Literatur	26
2.3. Kajian Sistem	29
2.3.1. Arsitektur Terintegrasi PLTS dan IoT (Sistem Pemantauan)	29
2.3.2. Aliran Sistem Data (Data Engineering Pipeline)	31
2.3.3. Kedudukan Predictive Analytics dalam Sistem	32
2.4. Kerangka Pemikiran	34
2.4.1. Kerangka Pemikiran	34
2.4.2. Hipotesis	34
BAB III	
METODE PENELITIAN	36
3.1. Jenis Penelitian	36
3.2. Objek Penelitian	36
3.3. Identifikasi Masalah dan Alur Penelitian	36
3.3.1. Monitoring Masih Bersifat Berkala	37
3.3.2. Potensi Gangguan yang Bersifat Reaktif	38
3.3.3. Lokasi Sistem yang Sulit Dijangkau	38
3.3.4. Ketersediaan Data Historis yang Belum Dimanfaatkan	39
3.3.5. Tingginya Mean Time to Detect (MTTD)	39
3.3.6. Penyelesaian Masalah	40
3.4. Metode Pengambilan Sampel	41
3.5. Jenis dan Sumber Data Penelitian	41
3.6. Metode Pengumpulan Data	42
3.7. Metode Analisis dan Pengolahan Data	44
3.7.1. Pembersihan dan Augmentasi Nilai String pada Data	45
3.7.2. Pembersihan nilai Null pada Data	47
3.7.3. Analisa Data dengan Boxplot	47
3.7.4. Analisis Variabel terkait PLTS	51
3.7.5. Analisis Variabel terkait Baterai	59
3.7.6. Transformasi dan Penskalaan Data	64
3.7.7. Explanatory Data Analysis (EDA) dari Data API	66
3.7.8. Pemeriksaan dan Pembersihan Data Gabungan dari Sistem PTLS dan API	72
3.7.9. Arsitektur Komputasi LSTM Sequence to Sequence	76
3.8. Perancangan Sistem Monitoring dan Dashboard	79
BAB IV	
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	81
4.1. Hasil Penelitian	81



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

4.1.1. Hasil Pembangunan Data Pipeline	81
4.1.2. Hasil Pelatihan dan Pengujian LSTM Sequence to Sequence	84
4.1.3. Hasil Implementasi Remaining Useful Life (RUL) pada Sistem Monitoring dan Dashboard IoT	91
4.2. Pembahasan	95
4.2.1. Keandalan Arsitektur Data Pipeline berbasis IoT	95
4.2.2. Performa Model LSTM Sequence to Sequence dalam Analitik Prediktif	96
4.2.3. Keandalan Arsitektur Data Pipeline berbasis IoT	98
BAB V	
PENUTUP	100
5.1. Kesimpulan	100
5.2. Saran	101
DAFTAR PUSTAKA	103

**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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>ETL – Pipeline</i> . Sumber: fivetran.com (2025).....	6
Gambar 2.2. <i>IoT Smart Solar System</i> . Sumber: solarpowershop.co.zw (2025).....	9
Gambar 2.3. <i>Sistem PV</i> . Sumber: greenmatch.co.uk (2025).....	10
Gambar 2.4. <i>On Grid PV System</i> . Sumber: dsnewenergy.en.made-in-china.com.....	11
Gambar 2.5. <i>Sistem PV Off-Grid</i> . Sumber: researchgate.net.....	12
Gambar 2.6. <i>PV Hybrid</i> . Sumber: jmhpowers.com.....	12
Gambar 2.7. <i>Komparasi Deep Learning dan Convensional Machine Learning</i> . Sumber: (Kumar dan Manash, 2019).....	13
Gambar 2.8. <i>Arsitektur LSTM</i> . Sumber: Kitchen dan Mihoub, 2025.....	18
Gambar 2.9. <i>Skematik umum dari jaringan LSTM</i>	18
Gambar 2.10. <i>Kerangka Pemikiran</i>	33
Gambar 3.1. <i>Kerangka Identifikasi Masalah Penelitian</i>	37
Gambar 3.2. <i>Data Engineering Pipeline (From Ingestion to Load to InfluxDB)</i>	43
Gambar 3.3. <i>Data Engineering Architecture</i>	43
Gambar 3.4. <i>Contoh Data yang Tidak Memiliki Pencilan</i>	47
Gambar 3.5. <i>Contoh Data dengan Pencilan</i>	47
Gambar 3.6. <i>Contoh Data yang Rusak</i>	47
Gambar 3.7. <i>Data SoC(%)</i>	48
Gambar 3.8. <i>Data Inverter Temperature</i>	48
Gambar 3.9. <i>Distribusi Boxplot variabel Battery Voltage(V)</i>	49
Gambar 3.10. <i>Distribusi Boxplot variabel battery cell maximum voltage</i>	49
Gambar 3.11. <i>Distribusi Boxplot variabel minimum voltage of battery cell</i>	50
Gambar 3.12. <i>Distribusi Boxplot variabel DC Voltage PV1(V)</i>	50
Gambar 3.13. <i>Distribusi Boxplot variabel DC Current PV1(V)</i>	51
Gambar 3.14. <i>Distribusi Boxplot variabel DC Power PV1(V)</i>	51
Gambar 3.15. <i>Distribusi DC Voltage PV1</i>	53
Gambar 3.16. <i>Distribusi DC Voltage PV2</i>	53
Gambar 3.17. <i>Distribusi DC Voltage PV3</i>	53
Gambar 3.18. <i>Distribusi DC Voltage PV4</i>	54
Gambar 3.19. <i>Distribusi Voltage PV1 dalam Rentang Waktu</i>	55
Gambar 3.20. <i>Distribusi DC Current PV1</i>	55
Gambar 3.21. <i>Distribusi DC Current PV2</i>	55
Gambar 3.22. <i>Distribusi DC Current PV3</i>	56
Gambar 3.23. <i>Distribusi DC Current PV4</i>	56
Gambar 3.24. <i>Distribusi DC Power PV1</i>	57
Gambar 3.25. <i>Distribusi DC Power PV2</i>	57



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 3.26. Distribusi DC <i>Power</i> PV3	57
Gambar 3.27. Distribusi DC <i>Power</i> PV4	58
Gambar 3.28. Distribusi Data Tegangan Baterai saat <i>Charging</i>	59
Gambar 3.29. Distribusi Data Arus Baterai saat <i>Charging</i>	60
Gambar 3.30. Distribusi Data Daya Baterai saat <i>Charging</i>	60
Gambar 3.31. Distribusi Data Tegangan Baterai saat <i>Discharging</i>	61
Gambar 3.32. Distribusi Data Arus Baterai saat <i>Discharging</i>	61
Gambar 3.33. Distribusi Data <i>battery cell maximum voltage</i> (mV).....	62
Gambar 3.34. Distribusi Data <i>Minimum voltage of battery cell</i> (mV).....	63
Gambar 3.35. Arsitektur LSTM <i>Sequence to Sequence</i>	76
Gambar 3.36. Arsitektur LSTM Seq2Seq.....	79
Gambar 4.1. Script untuk Otomatisasi Eksekusi <i>Data Pipeline</i>	81
Gambar 4.2. Log pasca akuisisi dan transformasi data berjalan.....	82
Gambar 4.3. Data Aktual di dalam <i>Database</i> (parsial).....	83
Gambar 4.4. Data Proses Inferensi di dalam <i>Database</i> (parsial).....	83
Gambar 4.5. Log pasca proses inferensi data berjalan.....	84
Gambar 4.6. Diagram Pengujian LSTM <i>Sequence to Sequence</i>	84
Gambar 4.7. Grafik Prediksi dan Aktual DC <i>Voltage</i> PV2(V).....	85
Gambar 4.8. Grafik Prediksi dan Aktual DC <i>Voltage</i> PV2(V).....	86
Gambar 4.9. Grafik Prediksi dan Aktual DC <i>Voltage</i> PV3(V).....	86
Gambar 4.10. Grafik Prediksi dan Aktual DC <i>Voltage</i> PV4(V).....	86
Gambar 4.11. Grafik Prediksi dan Aktual <i>Battery Voltage</i> (V).....	88
Gambar 4.12. Grafik Prediksi dan Aktual <i>Battery Current</i> (A).....	88
Gambar 4.13. Grafik Prediksi dan Aktual <i>Battery Power</i> (W).....	88
Gambar 4.14. Grafik Prediksi dan Aktual <i>Radiator Temperature</i> (°C).....	90
Gambar 4.15. Grafik Prediksi dan Aktual <i>Leak Current</i> (mA).....	90
Gambar 4.16. Tampilan <i>dashboard (mobile)</i> untuk PV.....	93
Gambar 4.17. Tampilan <i>dashboard (mobile)</i> Inverter (INV) dan Baterai (BAT). 94	



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. Daftar Korelasi <i>Pearson</i>	21
Tabel 2.2. Daftar Penelitian Terdahulu.....	26
Tabel 3.1. Contoh Sebagian Data dengan nilai <i>String</i>	45
Tabel 3.2. Contoh Sebagian Data dari Variabel <i>Battery Status</i>	46
Tabel 3.3. Variabel <i>Battery Status</i> setelah <i>One Hot Encoding</i>	46
Tabel 3.4. Variabel <i>One Hot Encoded</i> Pasca Pembuangan Variabel Redundansi.....	46
Tabel 3.5. Ringkasan Statistik dari data PLTS.....	52
Tabel 3.6. Contoh Data Sebelum Ditransformasi dengan MinMax Scaler.....	64
Tabel 3.7. Contoh Data Sesudah Ditransformasi dengan MinMax Scaler.....	64
Tabel 3.8. Contoh Data Sebelum Ditransformasi dengan Robust Scaler.....	64
Tabel 3.9. Contoh Data Sesudah Ditransformasi dengan Robust Scaler.....	65
Tabel 3.10. Contoh Data Sebelum Diimputasi dengan 3xIQR.....	65
Tabel 3.11. Contoh Data Sesudah Diimputasi dengan 3xIQR.....	66
Tabel 3.12. Informasi dari Data API Terkait.....	66
Tabel 3.13. Variabel period dari Data API terkait (parsial).....	67
Tabel 3.14. Korelasi <i>Pearson</i> dari sebagian data API.....	68
Tabel 3.15. Sebagian data API.....	68
Tabel 3.16. Ringkasan Statistik data API.....	69
Tabel 3.17. Sebagian Data API setelah Diskalakan dengan <i>Robust Scaler</i>	71
Tabel 3.18. Sebagian Data yang menjadi Null Pasca Digabungkan.....	72
Tabel 3.19. Sebagian Pasangan Data dengan Korelasi <i>Pearson</i> lebih dari 0.9.....	72
Tabel 3.20. Klasifikasi Variabel - Variabel berdasarkan Korelasinya.....	73
Tabel 3.21. Variabel - Variabel istimewa yang Tidak Ikut Diseleksi.....	74
Tabel 4.1. RMSE dan MSE Performa Sistem PV.....	86
Tabel 4.2. Nilai RMSE Prediksi Sistem PV (Ternormalisasi).....	87
Tabel 4.3. Nilai MSE dan RMSE Prediksi Sistem Baterai.....	89
Tabel 4.4. Nilai RMSE Prediksi Sistem Baterai (Ternormalisasi).....	89
Tabel 4.5. Nilai MSE dan RMSE Prediksi Sistem <i>Inverter</i>	90
Tabel 4.6. Nilai RMSE Prediksi Sistem <i>Inverter</i> (Ternormalisasi).....	91



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 LAMPIRAN

Lampiran 1. Cuplikan Kode Sumber <i>Data Pipeline</i>	111
Lampiran 2. Cuplikan Kode Sumber Inferensi <i>Machine Learning</i>	112
Lampiran 3. Cuplikan Kode Sumber Inti dari <i>LSTM Sequence to Sequence</i>	113
Lampiran 4. Cuplikan Arsitektur <i>LSTM Sequence to Sequence</i>	114
Lampiran 5. Cuplikan Kode Sumber <i>Cron Job</i>	115
Lampiran 6. Cuplikan Data Mentah.....	116
Lampiran 7. Cuplikan Pengujian <i>Server</i>	117





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

Indonesia merupakan negara berkembang dengan potensi sumber energi terbarukan yang sangat besar, khususnya energi surya yang tersedia melimpah sepanjang tahun. Pemanfaatan energi surya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi salah satu solusi strategis dalam mendukung transisi energi dan upaya penurunan emisi karbon nasional hingga tahun 2030 (Saputra et al., 2025). Seiring meningkatnya kebutuhan energi listrik yang efisien dan ramah lingkungan, implementasi sistem PLTS terus mengalami peningkatan baik pada skala industri maupun komersial.

Namun dalam penerapannya di lapangan, sistem PLTS tak lepas dari berbagai permasalahan teknis, terutama yang berkaitan dengan keandalan operasional dan pemeliharaan sistem. Penurunan performa modul surya, kegagalan *inverter*, degradasi komponen, serta pengaruh kondisi lingkungan dan cuaca menjadi faktor utama yang dapat menurunkan efisiensi dan kontinuitas operasi PLTS (Sánchez-Balseca et al., 2023). Kegagalan inverter khususnya, menyumbang sekitar 43% kerusakan pada sistem PLTS (Gallardo-Saavedra et al., 2019), sehingga apabila tidak ditangani secara tepat, kondisi tersebut dapat menyebabkan *unplanned downtime* dan meningkatnya biaya pemeliharaan serta penggantian komponen.

Pada praktiknya, kegiatan pengelolaan sistem PLTS masih didominasi oleh metode konvensional, seperti inspeksi visual dan pengambilan data secara manual oleh teknisi. Walau beberapa sistem telah dilengkapi sensor pemantauan, data yang dihasilkan seringkali hanya digunakan sebagai tampilan monitoring dasar atau disimpan sebagai log tanpa pengolahan lebih lanjut. Kondisi ini menyebabkan proses analisis menjadi lambat, bergantung



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 subjektivitas *operator*, serta kurang efektif dalam mendeteksi potensi kegagalan sejak dini (Ruslan, 2025).

Perkembangan teknologi di era Revolusi Industri 4.0 membuka peluang penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem energi, termasuk PLTS. Melalui integrasi sensor, perangkat komunikasi, dan server pemrosesan data, parameter operasi PLTS seperti tegangan, arus, daya, dan suhu dapat dikumpulkan serta ditransmisikan secara otomatis (Prasetya et al., 2025). Dengan adanya sistem IoT, kegiatan pemantauan dan pemeliharaan tidak lagi terbatas pada pemeriksaan manual, melainkan dapat dilakukan secara terpusat dan berkelanjutan (Prasetya et al., 2026).

Akan tetapi, integrasi IoT pada sistem PLTS seringkali masih bersifat *monitoring* pasif, yaitu data hanya ditampilkan tanpa diolah menjadi informasi yang dapat mendukung pengambilan keputusan pengelolaan dan pemeliharaan. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang dapat mengolah data deret waktu dari sistem PLTS secara otomatis untuk mengenali pola operasional dan mendeteksi indikasi awal kegagalan sistem.

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan *Deep Learning*, khususnya algoritma *Long Short Term Memory* (LSTM) yang ditingkatkan dengan metode *Sequence to Sequence*, yang dikenal mampu mengolah data deret waktu dengan ketergantungan temporal yang tinggi. Dalam penelitian ini, algoritma digunakan dengan tujuan meningkatkan efektivitas manajemen melalui prediksi dan klasifikasi kondisi sistem. Pendekatan ini tidak berfokus pada pengembangan algoritma baru, melainkan pada perancangan dan implementasi sistem terapan yang mendukung kegiatan operasi dan pemeliharaan PLTS.

Dengan adanya sistem *predictive analytics* berbasis IoT dan *Deep Learning*, diharapkan proses pemeliharaan PLTS dapat dilakukan secara lebih terencana, mengurangi risiko *unplanned downtime*, menekan biaya operasional, serta meningkatkan keandalan dan keberlanjutan sistem energi



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

surya. Penelitian ini selaras dengan karakter pendidikan vokasi, yang menitikberatkan pada penerapan teknologi secara praktis untuk menjawab permasalahan nyata di bidang konversi energi.

1.2. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diurai sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Belum optimalnya sistem pemantauan dan pemeliharaan PLTS yang masih bergantung pada analisis manual, berpotensi meningkatkan *Mean Time to Detect* (MTTD) dan menurunkan akurasi identifikasi gangguan, sehingga keterlambatan perbaikan dapat menyebabkan kehilangan produksi energi.
2. Keterbatasan pada metode konvensional dalam memberikan peringatan dini terhadap potensi kegagalan sistem PLTS dibandingkan dengan pendekatan pemodelan prediktif berbasis data deret waktu.
3. Kesenjangan penyajian data antara hasil proses algoritma yang kompleks dengan kebutuhan laporan pemeliharaan yang praktis bagi pengguna.

1.3. Pertanyaan Penelitian

Dari rumusan masalah yang tersusun, didapati serangkaian pertanyaan yaitu:

1. Bagaimana merancang sistem pemantauan dan pemeliharaan PLTS yang dapat mengurangi ketergantungan pada pengambilan dan analisis data secara manual serta mempercepat deteksi gangguan atau penurunan kinerja sistem?
2. Bagaimana performa pendekatan pemodelan prediktif berbasis data deret waktu dalam memberikan peringatan dini terhadap potensi kegagalan sistem PLTS jika dibandingkan dengan metode pemantauan konvensional?
3. Bagaimana mentransformasikan hasil pengolahan data dan prediksi sistem menjadi laporan pemeliharaan yang praktis, informatif, dan mudah dipahami oleh pengguna atau operator PLTS?



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

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pertanyaan penelitian yang telah diajukan, maka dapat ditemukan tujuan penelitian terkait, yaitu:

1. Merancang arsitektur *data pipeline* berbasis IoT untuk mengakuisisi dan mengintegrasikan data sistem PLTS secara otomatis berbasis *time - driven*.
2. Menerapkan pemodelan prediktif berbasis data deret waktu menggunakan algoritma *Long Short Term Memory* (LSTM) untuk mendukung pemantauan kondisi operasional sistem PLTS, memprediksi anomali, dan mengalkulasi sisa usia pakai (*Remaining Useful Life*) komponen pada sistem PLTS.
3. Mengembangkan sistem penyajian informasi pemeliharaan yang mampu mentransformasikan hasil pengolahan data dan prediksi sistem menjadi laporan yang informatif, termasuk menyajikan estimasi sisa usia pakai (*Remaining Useful Life*) dan mendeteksi anomali, untuk mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Aspek Teoretis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian di bidang Konversi Energi, khususnya terkait penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan pemodelan berbasis data dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi akademis mengenai penerapan sistem pemantauan dan pemeliharaan prediktif berbasis data deret waktu pada sistem PV, terutama dari paradigma rekayasa sistem dan implementasi terapan.

**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 Praktis

- Bagi Praktisi dan Industri

Penelitian ini diharapkan dapat memberi solusi aplikatif berupa sistem pemantauan otomatis yang kiranya dapat menekan angka *unplanned downtime*, mendeteksi potensi gangguan lebih dini, dan mengoptimalkan performa sampai biaya operasional pemeliharaan sistem PV.

- Bagi Pengguna Akhir

Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat memudahkan operator dalam memahami kondisi kesehatan sistem PV melalui laporan pemeliharaan yang informatif dan intuitif, sehingga keberlanjutan energi hijau dapat terjaga secara prima tanpa ketergantungan penuh pada pemeriksaan manual yang cenderung subjektif.

**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

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian komputasi, dan analisis implementasi sistem *Predictive Analytics* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* di wilayah 3T, maka dapat ditarik tiga kesimpulan utama yang sejalan dengan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Arsitektur *Data Pipeline* (Pemipaan Data) terotomatisasi berhasil dibangun untuk mengakuisisi parameter elektrik dari *inverter* dan data meteorologi dari API *Solcast* dengan resolusi waktu 5 menit. Tahapan pra-pemrosesan yang mencakup metode pembersihan, penskalaan, hingga mentransformasi data mentah menjadi matriks riwayat yang matang, bersih, dan bebas dari anomali multikolinearitas. Hal ini menjamin ketersediaan pasokan data yang berkualitas tinggi bagi arsitektur *Machine Learning*.
2. Model analitik prediktif menggunakan arsitektur *Deep Learning Long Short-Term Memory* (LSTM) *Sequence to Sequence* telah sukses dilatih secara spesifik dan independen untuk tiga komponen utama (Panel Surya, *Inverter*, dan Baterai). Konfigurasi lapisan *Encoder-Decoder* terbukti tangguh dalam mengekstraksi dinamika pola temporal jangka panjang untuk memproyeksikan performa sistem 24 jam ke depan. Secara kuantitatif, model mencatat tingkat presisi yang tinggi pada komponen bersiklus stabil, misal tingkat *error* prediksi Tegangan Baterai hanya sebesar 4,48%, serta *error* Tegangan untuk seluruh rentetan Panel Surya (*PV1-PV4*) berhasil ditekan di bawah angka 9% (berkisar antara 6,05% hingga 8,30%). Walau prediksi komponen *Inverter* memberi deviasi *error* yang lebih tinggi (Arus Bocor 21,57% dan Suhu Radiator 12,38%) akibat



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

volatilitas data lapangan, arsitektur algoritma secara empiris tetap mampu dan tangguh dalam mengekstraksi pergeseran tren (*baseline shift*) dari degradasi sistem.

3. Hasil pengolahan algoritma *back-end* yang kompleks telah berhasil divisualisasikan menjadi antarmuka informasi pemeliharaan yang taktis pada *Dashboard* IoT di *front-end*. Ekstrapolasi matematis terhadap *Health Index* (HI) menggunakan kalkulasi tren gradien lini masa 45 hari berhasil menghasilkan nilai sisa usia pakai (*Remaining Useful Life/RUL*). Sistem secara otonom memproyeksikan estimasi hari menuju pemeliharaan dengan mengadopsi standar parameter ambang batas kritis (*threshold*) kegagalan sebesar 80% untuk Panel Surya dan Baterai, serta 83% untuk Inverter (yang diderivasi dari evaluasi *Confidence Interval* 95%). Visibilitas kuantitatif terpusat ini secara langsung menjawab permasalahan tingginya nilai *Mean Time To Detect* (MTTD), sehingga memandu manajemen operasional bergeser menuju paradigma pemeliharaan prediktif.

5.2. Saran

Guna mengatasi keterbatasan pada penelitian ini, beberapa rekomendasi yang diajukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada tahap pra-pemrosesan data, penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan dan membandingkan lebih dari satu instrumen uji korelasi statistik. Selain menggunakan korelasi *Pearson* (yang ideal untuk korelasi linear), penerapan uji korelasi *Spearman* atau *Kendall Tau* dapat dipertimbangkan untuk menangkap dan menyeleksi hubungan parameter non-linear yang kompleks, yang mungkin terlewatkan pada kondisi fluktuasi cuaca ekstrem.
2. Untuk menekan nilai *Mean Squared Error* (MSE) dan meningkatkan tingkat kepresisian prediksi model, proses *training* di masa depan dapat mengeksplorasi teknik *Hyperparameter Tuning* yang lebih komprehensif. Selain itu, penggabungan arsitektur (hibrida) seperti *Convolutional Neural*



© 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

Network (CNN) dengan LSTM dapat diujikan guna mengekstraksi fitur spasial meteorologi yang bergerak sangat cepat.

3. Mengingat unit PLTS *off-grid* beroperasi di daerah terpencil (3T) yang rentan terhadap gangguan latensi dan stabilitas transmisi internet, pengembangan selanjutnya disarankan untuk mendesentralisasikan beban komputasi menggunakan teknologi *Edge Computing*. Dengan menanamkan (*deploy*) model *Machine Learning* yang telah dilatih secara lokal langsung pada perangkat mikrokontroler di lapangan (*Edge AI*), sistem akan mampu mengeksekusi deteksi anomali secara otonom dan tangguh (*fail-safe*) tanpa harus selalu bergantung pada pertukaran data dua arah dengan peladen *cloud*.
4. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan validasi model pada data operasional jangka panjang yang mencakup proses degradasi komponen hingga mencapai ambang pemeliharaan atau kegagalan. Validasi tersebut diperlukan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mempertahankan baseline kondisi sehat, mengukur sensitivitas *Health Index* terhadap degradasi aktual, serta memverifikasi akurasi estimasi *Remaining Useful Life* (RUL) yang dihasilkan.

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

- Adhi, P. M. (n.d.). In *Statistika 04. Numerical Descriptive Measures 2*.
- AI and cloud computing services*. (n.d.). Google Cloud. Retrieved July 1, 2026, from <https://cloud.google.com/>
- Alaref, E. (2025). A literature review on Industry 4.0 and its technologies. In *Industry 4.0 - Transforming the Future Beyond Manufacturing [Working Title]*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1012837>
- Bartholomew, D. J. (1995). What is Statistics? *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (Statistics in Society)*, 158(1), 1. <https://doi.org/10.2307/2983401>
- Betti, A., Trovato, M. L. L., Leonardi, F. S., Leotta, G., Ruffini, F., & Lanzetta, C. (2017). Predictive Maintenance in Photovoltaic Plants with Big Data Approach. *33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 1895–1900. <https://doi.org/https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20172017-6DP.2.4>
- Brahma, B., & Wadhvani, R. (2020). Solar Irradiance Forecasting Based on Deep Learning Methodologies and Multi-Site Data. *Symmetry*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/sym12111830>
- Braun, J. A., Behmann, R., Schmider, D., & Bessler, W. G. (2022). State of charge and state of health diagnosis of batteries with voltage-controlled models. *Journal of Power Sources*, 544, 231828. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231828>
- Bro, B. (2025, September 3). What is a trickle charger? Everything you need to



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

know. *Impactbattery.Com*.

<https://www.impactbattery.com/blog/post/what-is-a-trickle-charger>

Case Western Reserve University, EURAC Research, EDF, Fraunhofer-ISE, Sandia, 3E, TÜV Rheinland, Utrecht University, & Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. (2021). Assessment of Performance Loss Rate of PV Power Systems. In *IEA PVPS* (pp. 9–34). IEA PVPS (International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme). <https://iea-pvps.org/>

Dhilipan, J., Vijayalakshmia, N., Shanmugam, D. B., Maidin, S. S., & Shing, Wong Ling. (2025). Intelligent solar panel monitoring using machine learning and cloud-based predictive analytics. *Journal of Applied Data Sciences*, 6(3), 1599–1610. <https://doi.org/10.47738/jads.v6i3.720>

El Maghraoui, A., Ledmaoui, Y., Laayati, O., El Hadraoui, H., & Chebak, A. (2022). Smart energy management: a comparative study of energy consumption forecasting algorithms for an experimental open-pit mine. *Energies*, 15(13), 4569. <https://doi.org/10.3390/en15134569>

Full-stack observability for the agentic era. (n.d.). Full-Stack Observability for the Agentic Era | Grafana Labs. Retrieved July 1, 2026, from <https://grafana.com/>

Gallardo-Saavedra, S., Hernández-Callejo, L., & Duque-Pérez, O. (2019). Quantitative failure rates and modes analysis in photovoltaic plants. *Energy*, 183, 825–836. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.185>

GeeksforGeeks. (2020a, July 15). StandardScaler, MinMaxScaler and



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

RobustScaler techniques ML. *GeeksforGeeks*.

<https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/standardscaler-minmaxscaler-and-robustscaler-techniques-ml/>

GeeksforGeeks. (2020b, December 28). Mean, median and mode. *GeeksforGeeks*.

<https://www.geeksforgeeks.org/maths/mean-median-mode/>

GeeksforGeeks. (2022a, January 26). Quartiles. *GeeksforGeeks*.

<https://www.geeksforgeeks.org/maths/quartile-formula/>

GeeksforGeeks. (2022b, February 14). Pearson correlation coefficient.

GeeksforGeeks.

<https://www.geeksforgeeks.org/maths/pearson-correlation-coefficient/>

GeeksforGeeks. (2022c, July 6). Standard deviation. *GeeksforGeeks*.

<https://www.geeksforgeeks.org/maths/standard-deviation-formula/>

GeeksforGeeks. (2023, November 8). Interquartile range in statistics.

GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/maths/interquartile-range/>

GeeksforGeeks. (2024a, May 15). Mean squared error. *GeeksforGeeks*.

<https://www.geeksforgeeks.org/maths/mean-squared-error/>

GeeksforGeeks. (2024b, May 29). Why is Statistics Important? *GeeksforGeeks*.

<https://www.geeksforgeeks.org/maths/why-is-statistics-important/>

Ghil, M., & Lucarini, V. (2020). The physics of climate variability and climate change. *Reviews of Modern Physics*, 92(3).

<https://doi.org/10.1103/revmodphys.92.035002>

Hacke, P., Lokanath, S., Williams, P., Vasan, A., Sochor, P., TamizhMani, G.,

Shinohara, H., & Kurtz, S. (2018). A status review of photovoltaic power



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

conversion equipment reliability, safety, and quality assurance protocols.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 1097–1112.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.043>

Han, W. (2005). Origins and dynamics of the 90-day and 30–60-day variations in the equatorial indian ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 35(5), 708–728. <https://doi.org/10.1175/jpo2725.1>

Harris, F. J. (1978). On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform. *Proceedings of the IEEE*, 66(1), 51–83.

<https://doi.org/10.1109/proc.1978.10837>

I challenge thee. (n.d.). Retrieved July 2, 2026, from <https://wiki.debian.org>

InfluxData. (n.d.). InfluxData. Retrieved July 1, 2026, from

<https://www.influxdata.com>

Jin, N., Yang, F., Mo, Y., Zeng, Y., Zhou, X., Yan, K., & Ma, X. (2022). Highly accurate energy consumption forecasting model based on parallel LSTM neural networks. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101442.

<https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101442>

Kaushik, H., Rai, A., Kapasiya, G., & Bhati, J. P. (2024). The making of an data pipeline. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 6(3).

<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i03.20849>

Khwarizmi, M. H., & Setiyono. (2025). Real-Time Monitoring System for Solar Power Plants Using PLC and IoT-Based Architecture. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 13(2), 215–217.



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://doi.org/http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v13i2.215>

Kim, T.-Y., & Cho, S.-B. (2019). Predicting residential energy consumption using CNN-LSTM neural networks. *Energy*, 182, 72–81.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.230>

Kingma, D. P., & Ba, J. (2014, December 22). *Adam: a method for stochastic optimization*. arXiv.Org. <https://arxiv.org/abs/1412.6980>

Krichen, M., & Mihoub, A. (2025). Long Short-Term Memory Networks: A Comprehensive Survey. *AI*, 6(215).

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ai6090215>

Kumar, P Rajendra, & Manash, E. B. K. (2019). Deep learning: a branch of machine learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1228(012045).

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1228/1/012045>

Lei, Y., Li, N., Guo, L., Li, N., Yan, T., & Lin, J. (2018). Machinery health prognostics: A systematic review from data acquisition to RUL prediction. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 104, 799–834.

<https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.11.016>

Lombardi, M., Pascale, F., & Santaniello, D. (2021). Internet of things: a general overview between architectures, protocols and applications. *Information*,

12(2), 87. <https://doi.org/10.3390/info12020087>

Marple Jr, S. L. (1987). *Digital Spectral Analysis with Applications*.

Morari, H. B., Bortolini, R. J. F., Bellinaso, L. V., & Michels, L. (2023). Improved methodology for testing the compliance of residual current detection of non-isolated grid-connected photovoltaic inverters. *Eletrônica de*



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

Potência, 28(3), 256–263. <https://doi.org/10.18618/rep.2023.3.0008>

Mphale, O., Gorejena, K. N., & Nojila, O. (2024). The future of things: A comprehensive overview of Internet of Things history, definitions, technologies, architectures, communication and beyond. *Journal of Information Systems and Informatics*, 6(2), 1263–1286.

<https://doi.org/10.51519/journalisi.v6i2.738>

Norgeot, B., Lituiev, D., Glicksberg, B. S., & Butte, A. J. (2018). Time Aggregation and Model Interpretation for Deep Multivariate Longitudinal Patient Outcome Forecasting Systems in Chronic Ambulatory Care. *Machine Learning for Health (ML4H) Workshop at NeurIPS*.

Panda, K. C., & Agrawal, S. (2024). Predictive Analytics: An Overview of Evolving Trends and Methodologies. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 8(10), 175–180.

Podias, A., Pfrang, A., Di Persio, F., Kriston, A., Bobba, S., Mathieux, F., Messagie, M., & Boon-Brett, L. (2018). Sustainability assessment of second use applications of automotive batteries: Ageing of li-ion battery cells in automotive and grid-scale applications. *World Electric Vehicle Journal*, 9(2), 24. <https://doi.org/10.3390/wevj9020024>

Praba, R., Darshan, G., Roshanraj, K. T., & Prakash, B. S. (2021). Study On Machine Learning Algorithms. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 7(4), 67–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.32628/CSEIT2173105>

Prasetya, S., Todaro, M., & Ridlwan, H. M. (2026). Development of IoT-based



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

Monitoring of the Lithium-Ion Battery Pack for a Two-Wheeled Vehicle Ecosystem. *Recent in Engineering Science and Technology*, 4(02), 117–124. <https://doi.org/https://doi.org/10.59511/riestech.v4i02.137>

Reis, J., & Housley, M. (2022). *Fundamentals of data engineering: Plan and build robust data systems*. “O’Reilly Media, Inc.”

Ruslan, S. N. A. binti. (2025). Engineering technology development in the era of Industry 4.0: A literature review. *Journal Of Engineering And Technology Innovation (JETI)*, 2(01), 21–26. <https://doi.org/10.66084/jeti.v2i01.461>

Sánchez-Balseca, J., Pineiros, J. L., & Pérez-Foguet, A. (2023). Influence of environmental factors on the power produced by photovoltaic panels artificially weathered. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113831. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113831>

Saputra, D. C. A., Mendrofa, M. J. S., Aji, P., & Muwafiq, S. Z. (2025, February). *Unlocking Indonesia’s renewables future: the economic case of 333 GW of solar, wind and hydro projects*. IESR. <https://iesr.or.id/en/pustaka/unlocking-indonesias-renewables-future-the-economic-case-of-333-gw-of-solar-wind-and-hydro-projects/>

Śmiałkowski, T., & Czyżewski, A. (2022). Detection of anomalies in the operation of a road lighting system based on data from smart electricity meters. *Energies*, 15(24), 9438. <https://doi.org/10.3390/en15249438>

Solar, wind and weather data power built for renewables. (n.d.). SolcastTM.

Retrieved April 22, 2026, from <https://solcast.com>

Sutskever, I., Vinyals, O., & Le, Q. V. (2014). Sequence to Sequence Learning



© 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

with Neural Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 27, 3101–3109.

<https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.1409.3215>

Syamsuddin, A., Adhi, A. C., Kusumawardhani, A., Prahasto, T., & Widodo, A. (2024). Predictive maintenance based on anomaly detection in photovoltaic system using SCADA data and machine learning. *Results in Engineering*, 24, 103589. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103589>

Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*.

Uhanto, U., Yandri, E., Hilmi, E., Saiful, R., & Hamja, N. (2024). Predictive maintenance with machine learning: A comparative analysis of wind turbines and PV power plants. *Heca Journal of Applied Sciences*, 2(2), 87–98. <https://doi.org/10.60084/hjas.v2i2.219>

**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

Lampiran 1. Cuplikan Kode Sumber *Data Pipeline*

```

SSH-in-browser
  GNU nano 8.4  pipeline/ingestion old.py
  print("Data types setelah conversion:")
  print(df_dashboard.dtypes)

  write_api = client.write_api(write_options= SYNCHRONOUS)
  write_api.write(
    bucket=bucket,
    org=org,
    record=df_dashboard,
    data_frame_measurement_name= "plts_predictive_analytics_N"
  )
  print("successfully write data to InfluxDB")

  # 10.2 Load to CSV for ML Inference Later
  pipeline_path = os.getenv('pipeline_path')
  end_unix = int(end_utc.timestamp())

```

^G Help ^O Write Out ^F Where Is ^K Cut ^T Execute
 ^X Exit ^R Read File ^\ Replace ^U Paste ^J Justify

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

Lampiran 2. Cuplikan Kode Sumber Inferensi *Machine Learning*

```

SSH-in-browser
  UPLOAD FILE  DOWNLOAD FILE  !  [ ]  [ ]  [ ]
GNU nano 8.4  inference/inference.py

indeks_prediksi = pd.date_range(start=f"{waktu_start_inferensi}>
[]
df_final_pv.index = indeks_prediksi
df_final_inv.index = indeks_prediksi
df_final_bat.index = indeks_prediksi

df_final_pv = df_final_pv.rename(
    columns={col : f"{col} (prediction)" for col in target_col}
)

df_final_inv = df_final_inv.rename(
    columns={col : f"{col} (prediction)" for col in target_col}
)

df_final_bat = df_final_bat.rename(

^G Help      ^O Write Out ^F Where Is   ^K Cut       ^T Execute
^X Exit      ^R Read File ^\ Replace   ^U Paste     ^J Justify
  
```

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

Lampiran 3. Cuplikan Kode Sumber Inti dari LSTM *Sequence to Sequence*

Fungsi Untuk Melatih dan uji Machine Learning

```
def build_seq2seq(n_features, input_window=48, output_window=24, hidden_units=64, n_target):
    encoder_inputs = Input(shape=(input_window, n_features))
    encoder_lstm = LSTM(hidden_units, return_state=True)
    _, state_h, state_c = encoder_lstm(encoder_inputs)
    decoder_inputs = RepeatVector(output_window)(state_h)
    decoder_lstm = LSTM(hidden_units, return_sequences=True)
    decoder_outputs = decoder_lstm(decoder_inputs, initial_state=[state_h, state_c])
    decoder_dense = TimeDistributed(Dense(n_targets))
    outputs = decoder_dense(decoder_outputs)

    model = Model(encoder_inputs, outputs)
    model.compile(optimizer='adam', loss='mse')
```

Terminal

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

Lampiran 4. Cuplikan Arsitektur LSTM *Sequence to Sequence*

... Model: "functional_1"

...

Layer (type)	Output Shape	Param #	Connected to
input_layer_1 (InputLayer)	(None, 576, 43)	0	-
lstm_2 (LSTM)	[(None, 64), (None, 64), (None, 64)]	27,648	input_layer_1[0]...
repeat_vector_1 (RepeatVector)	(None, 288, 64)	0	lstm_2[0][1]
lstm_3 (LSTM)	(None, 288, 64)	33,024	repeat_vector_1[... lstm_2[0][1], lstm_2[0][2]
time_distributed_1 (TimeDistributed)	(None, 288, 2)	130	lstm_3[0][0]

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

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

SSH-in-browser

UPLOAD FILE

DOWNLOAD FILE

GNU nano 8.4 /tmp/crontab.rHDSfs/crontab *

Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
email to the user the crontab file belongs to (unless redire>

For example, you can run a backup of all your user accounts
at 5 a.m every week with:
0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/

For more information see the manual pages of crontab(5) and >

m h dom mon dow command

30 0 * * * ~/miniconda3/bin/python3 ~/pipeline/ingestion_old.py
0 1 * * * ~/miniconda3/bin/python3 ~/inference/inference.py
□

Help

Write Out

Where Is

Cut

Execute

Exit

Read File

Replace

Paste

Justify

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Lampiran 7. Cuplikan Pengujian Server

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

```

body=body,
*****
**urlopen kw)
*****

File "/home/umar_ahr2003/miniconda3/lib/python3.13/site-packages/influxdb_client/_sync/rest.py", line 311, in
POST
return self.request("POST", url,
*****
headers=headers,
*****
...<4 lines>...
body=body,
*****
**urlopen kw)
*****

File "/home/umar_ahr2003/miniconda3/lib/python3.13/site-packages/influxdb_client/_sync/rest.py", line 261, in
request
raise ApiException(http_resp=r)
influxdb_client.rest.ApiException: (422)
Reason: Unprocessable Entity
HTTP response headers: HTTPHeaderDict({'Content-Type': 'application/json; charset=utf-8', 'X-Influxdb-Build': 'OSS', 'X-Influxdb-Version': 'v2.9.1', 'X-Platform-Error-Code': 'unprocessable entity', 'Date': 'Sun, 28 Jun 2026 03:14:08 GMT', 'Content-Length': '254'})
HTTP response body: {"code": "unprocessable entity", "message": "failure writing points to database: partial write : field type conflict: input field \"Battery Power(W)\" on measurement \"plts_predictive_analytics_NM\" is type integer, already exists as type float dropped=288"}

(base) umar_ahr2003@skripsi-ml:~$ docker ps -a
CONTAINER ID   IMAGE                                COMMAND                  CREATED        STATUS        PORTS
4bfac6b481a0   grafana/grafana-oss:latest          "/run.sh"               4 days ago    Up 4 days    0.0.0
.0:3000->3000/tcp, [::]:3000->3000/tcp   grafana
529565ffd49d   influxdb:2                          "/entrypoint.sh infl_  4 days ago    Up 4 days    0.0.0
.0:8086->8086/tcp, [::]:8086->8086/tcp   influxdb
25990c179638   hello-world                          "/hello"                4 days ago    Exited (0) 4 days ago
(base) umar_ahr2003@skripsi-ml:~$ nano pipeline/
  
```

JAKARTA