

**PENGEMBANGAN DAN EVALUASI ARSITEKTUR SISTEM
MANAJEMEN ENERGI TERINTEGRASI BERBASIS IOT,
DEEP LEARNING (LSTM), DAN LARGE LANGUAGE
MODELS**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Sarjana
Program Studi Teknik Komputer



disusun oleh

DIAN PRASETYA

21.83.0712

Kepada

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2025

**PENGEMBANGAN DAN EVALUASI ARSITEKTUR SISTEM
MANAJEMEN ENERGI TERINTEGRASI BERBASIS IOT,
DEEP LEARNING (LSTM), DAN LARGE LANGUAGE
MODELS**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Sarjana
Program Studi Teknik Komputer



disusun oleh

DIAN PRASETYA

21.83.0712

Kepada

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PENGEMBANGAN DAN EVALUASI ARSITEKTUR SISTEM
MANAJEMEN ENERGI TERINTEGRASI BERBASIS IOT,
DEEP LEARNING (LSTM), DAN LARGE LANGUAGE
MODELS**

yang disusun dan diajukan oleh

Dian Prasetya

21.83.0712

telah disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi
pada tanggal 26 Mei 2025

Dosen Pembimbing,

Jeki Kuswanto, M.Kom.

NIK. 190302456

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI
PENGEMBANGAN DAN EVALUASI ARSITEKTUR SISTEM
MANAJEMEN ENERGI TERINTEGRASI BERBASIS IOT,
DEEP LEARNING (LSTM), DAN LARGE LANGUAGE
MODELS

yang disusun dan diajukan oleh

Dian Prasetya

21.83.0712

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 26 Mei 2025

Susunan Dewan Penguji

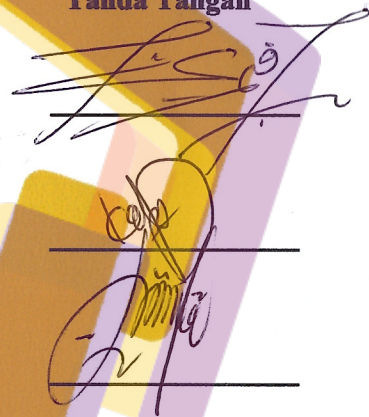
Nama Penguji

Tanda Tangan

Dr. Ferry Wahyu Wibowo, S.Si., M.Cs.
NIK. 190302235

Muhammad Koprari, S.Kom., M.Eng
NIK. 190302454

Jeki Kuswanto, S.Kom., M.Kom.
NIK. 190302456



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
Tanggal 26 Mei 2025

DEKAN FAKULTAS ILMU KOMPUTER



Prof. Dr. Kusrini, M.Kom.
NIK. 190302106

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Dian Prasetya
NIM : 21.83.0712

Menyatakan bahwa Skripsi dengan judul berikut:

**PENGEMBANGAN DAN EVALUASI ARSITEKTUR SISTEM
MANAJEMEN ENERGI TERINTEGRASI BERBASIS IOT, DEEP
LEARNING (LSTM), DAN LARGE LANGUAGE MODELS**

Dosen Pembimbing : Jeki Kuswanto, M.Kom.

1. Karya tulis ini adalah benar-benar **ASLI** dan **BELUM PERNAH** diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas AMIKOM Yogyakarta maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian **SAYA** sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan disebutkan dalam Daftar Pustaka pada karya tulis ini.
4. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab **SAYA**, bukan tanggung jawab Universitas AMIKOM Yogyakarta.
5. Pernyataan ini **SAYA** buat dengan sesungguhnya, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka **SAYA** bersedia menerima **SANKSI AKADEMIK** dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi.

Yogyakarta, 26 Mei 2025

Yang Menyatakan,



Dian Prasetya

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan sebagai bentuk rasa terima kasih dan penghargaan yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan semangat selama proses penelitian dan penulisan. Perjalanan ini tidak akan terwujud tanpa peran serta orang-orang yang selalu berada di samping saya, memberikan motivasi, dan membantu saya dalam setiap langkah yang diambil. Skripsi ini dipersembahkan untuk:

1. Orang tua tercinta, yang telah memberikan dukungan, kasih sayang, dan semangat tanpa henti sepanjang perjalanan ini.
2. Bapak Jeki Kuswanto, M.Kom. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan pengetahuan yang sangat berharga dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Teman-teman yang selalu memberikan dukungan moral dan kerja sama yang luar biasa selama penelitian ini.

Semoga karya ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang berjudul "PENGEMBANGAN DAN EVALUASI ARSITEKTUR SISTEM MANAJEMEN ENERGI TERINTEGRASI BERBASIS IOT, DEEP LEARNING (LSTM), DAN LARGE LANGUAGE MODELS" ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Komputer di Universitas Amikom Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa tanpa dukungan dari berbagai pihak, penyelesaian skripsi ini tidak akan dapat terlaksana dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Jeki Kuswanto, M.Kom. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Tim Dosen Penguji, yang telah memberikan kritik, saran, dan evaluasi yang membangun untuk meningkatkan kualitas skripsi ini.
3. Orang tua penulis, yang selalu memberikan dukungan moral, material, dan doa yang tak terhingga sepanjang perjalanan pendidikan ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman, rekan sejawat, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang IoT. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan karya ini.

Yogyakarta, 26 Mei 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
INTISARI	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Studi Literatur	6
2.2 Dasar Teori.....	11
2.2.1 Arsitektur Sistem IoT untuk Manajemen Energi Cerdas	11
2.2.2 Protokol Komunikasi Data dalam Sistem IoT Real-time.....	11
2.2.3 Teknologi Database untuk Data Deret Waktu	13
2.2.4 Deep Learning untuk Prediksi Konsumsi Energi.....	13
2.2.5 LLM dalam Analisis dan Interpretasi Data.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Objek Penelitian	16
3.2 Alur Penelitian	16
3.2.1 Tahap Perancangan Arsitektur Sistem	17
3.2.2 Tahap Pengembangan Komponen Sistem.....	19
3.2.3 Tahap Pengembangan dan Integrasi Model Analitik ke dalam Sistem	21
3.2.3 Tahap Pengujian dan Evaluasi Sistem	23
3.3 Alat dan Bahan.....	24
3.3.1 Data Penelitian	24
3.3.1 Alat dan Instrumen.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Deskripsi Dataset dan Pra-pemrosesan Data untuk Model Prediksi.....	27
4.1.1 Sumber dan Karakteristik Dataset	27

4.1.2	Pra-pemrosesan Data	29
4.1	Hasil Pengujian dan Evaluasi Kinerja Komunikasi Data (WebSocket)	30
4.2.1	Metodologi Pengukuran Latensi	30
4.2.1	Skenario Pengujian Latensi dan <i>Throughput</i>	31
4.2.2	Hasil Pengukuran dan Analisis	32
4.3	Hasil Implementasi dan Evaluasi Model Prediksi Konsumsi Energi (LSTM).....	33
4.3.1	Proses Pelatihan Model LSTM	33
4.3.2	Evaluasi Kinerja Model LSTM.....	34
4.4	Hasil Implementasi dan Evaluasi Integrasi Large Language Model (LLM)	38
4.4.1	Metodologi Evaluasi Output LLM.....	38
4.4.2	Skenario Pengujian dan Hasil Evaluasi	39
4.5	Evaluasi Integrasi Arsitektural Sistem.....	42
4.5.1	Pengujian Fungsionalitas Alur Data End-to-End.....	42
4.5.2	Analisis Interaksi Antar Komponen.....	47
4.5	Pembahasan Umum	49
BAB V	PENUTUP	53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	54
REFERENSI		56
LAMPIRAN		58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keaslian Penelitian	8
Tabel 2.2 Komponen Arsitektur IoT untuk Manajemen Energi	11
Tabel 2.3 Perbandingan Protokol Komunikasi untuk IoT	12
Tabel 2.4 Perbandingan Database Time-Series	13
Tabel 2.5 Perbandingan Algoritma ML untuk Prediksi Energi	14
Tabel 2.6 Aplikasi LLM dalam Manajemen Energi	14
Tabel 2.7 Fungsi LLM dalam Konteks Manajemen Energi IoT	15
Tabel 3.1 Tabel Alat dan Instrumen	25
Tabel 3.2 Lanjutan Tabel Alat dan Instrumen	26
Tabel 4.1 Contoh Data Sebelum dan Sesudah Prapemrosesan Data	29
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Latensi Rata-rata Komunikasi WebSocket	32
Tabel 4.3 Hasil Evaluasi Kinerja Model LSTM dengan Metrik MAE	35
Tabel 4.4 Perbandingan Output LLM dan Expected Output	40
Tabel 4.5 Hasil Evaluasi Cosine Similarity Output LLM untuk Berbagai Skenario Input	41

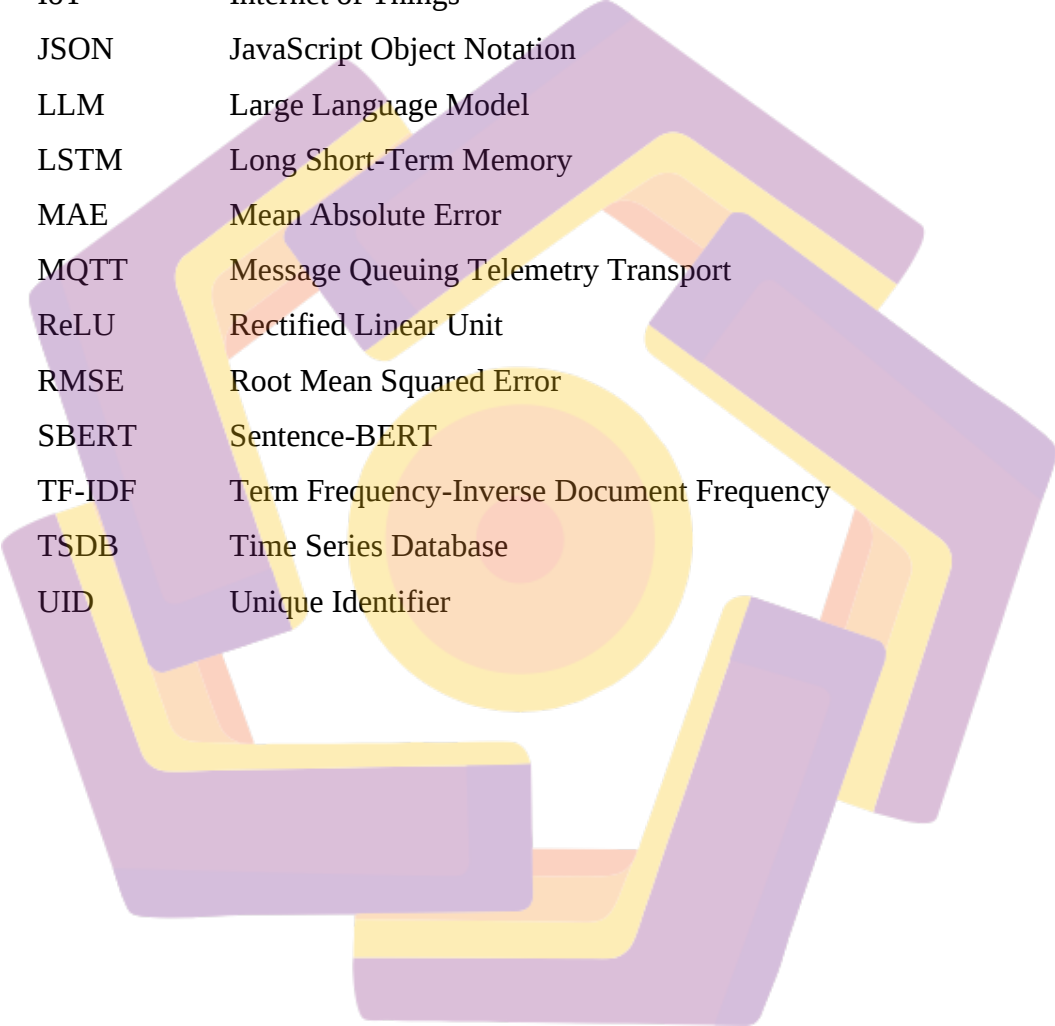
DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Alur Penelitian	17
Gambar 3.2 Arsitektur Sistem	18
Gambar 4.1 Dataset <i>REFIT: Electrical Load Measurements</i>	28
Gambar 4.2 Grafik Distribusi Latensi	33
Gambar 4.3 Arsitektur Model LSTM	34
Gambar 4.4 Grafik Kurva Pembelajaran Model LSTM (MAE vs. Epoch)	35
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Hasil Prediksi LSTM dengan Data Aktual pada Data Uji	37
Gambar 4.6 Perbandingan Hasil Prediksi dengan Data Test dan Data IoT	37
Gambar 4.7 Alur Pengujian Integrasi Sistem	43
Gambar 4.8 Diagram alur data dari ESP32 ke WebSocket Server	43
Gambar 4.9 Diagram alur prediksi dari User ke LSTM Model	44
Gambar 4.10 Diagram integrasi hasil prediksi ke prompt LLM dan hasil interpretasi	44
Gambar 4.11 Tangkapan Layar Monitoring Energi Real-time	45
Gambar 4.12 Grafik Prediksi Energi oleh Model LSTM	45
Gambar 4.13 Teks Interpretasi Energi oleh LLM	46
Gambar 4.14 Diagram Alur Data Sistem dengan Anotasi Observasi Kinerja dan Titik Integrasi	48
Gambar 4.15 Log Terminal Prediksi LSTM	48
Gambar 4.16 Cuplikan Log Terminal Interpretasi LLM	49

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	58
1. Kode Sumber (Source Code)	58
A.1 Kode Sumber Sistem IoT (NodeMCU/ESP32)	58
A.1.1 Definisi dan Konfigurasi WebSocket	58
A.1.2 Struktur Payload Data Sensor (Pengiriman ke Server)	59
A.1.3 Fungsi Callback WebSocket dan Payload Perintah Kontrol (Penerimaan dari Server)	60
A.1.4 Fungsi setup() dan loop() Esensial	61
A.2 Kode Sumber Server Backend (Python)	62
A.2.1 Dependencies Utama	62
A.2.2 Konfigurasi Aplikasi	62
A.2.3 Endpoint WebSocket untuk Klien Web	63
A.2.4 Endpoint WebSocket untuk Perangkat ESP	64
A.2.5 Endpoint Generate (LLM Interaction)	65
A.2.6 Fungsi Predict (ML Model)	66
A.3 Kode Sumber Model Deep Learning (LSTM)	66
A.3.1 Dependencies Utama dan Pemuatan Data	67
A.3.2 Pra-pemrosesan Data (Normalisasi dan Pembentukan Sekuens)	68
A.3.3 Definisi Arsitektur Model LSTM	68
A.3.4 Pelatihan Model LSTM	69
A.3.5 Evaluasi dan Fungsi Prediksi Model Esensial	70
A.4 Kode Sumber Integrasi LLM	70
A.4.1 Firebase Authentication Middleware	71
A.4.2 Fungsi process_llm_request	72
2. Skema Rangkaian Hardware	74
Lampiran B.1 Skema Rangkaian Sensor PZEM-004T dan ESP32	74
Lampiran B.2 Prototype Perangkat Edge	74
3. Contoh Dataset	75
Lampiran C.1 Cuplikan Dataset <i>REFIT: Electrical Load Measurements</i>	75
Lampiran C.2 Contoh Data Sensor Real-time dari PZEM-004T	75
4. Log Pengujian dan Evaluasi Tambahan	76
Lampiran D.1 Log Komunikasi WebSocket (Contoh Transaksi)	76
Lampiran D.2 Log Pelatihan Model LSTM (Epochs & Loss/MAE)	76

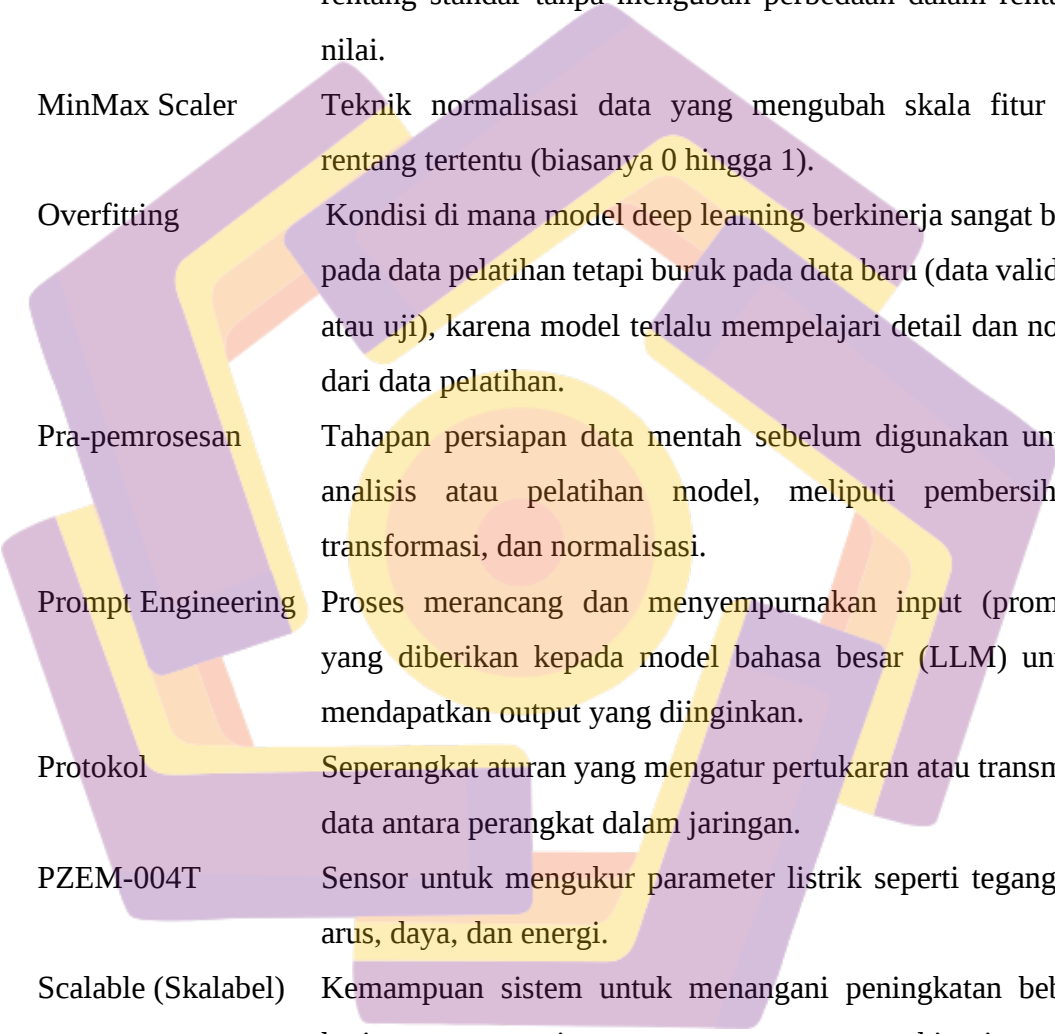
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN



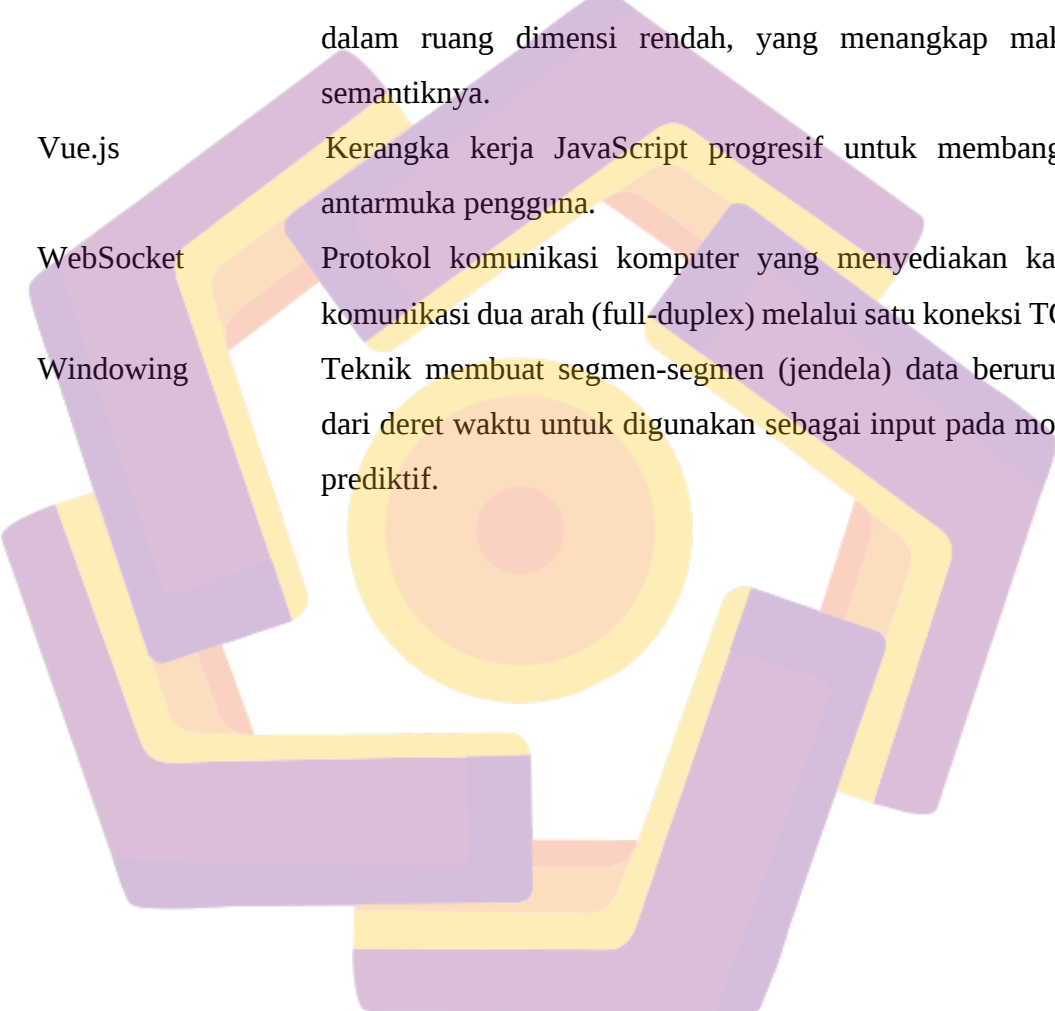
API	Application Programming Interface
GPT-4 Turbo	Generative Pre-trained Transformer 4 Turbo
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation
LLM	Large Language Model
LSTM	Long Short-Term Memory
MAE	Mean Absolute Error
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
ReLU	Rectified Linear Unit
RMSE	Root Mean Squared Error
SBERT	Sentence-BERT
TF-IDF	Term Frequency-Inverse Document Frequency
TSDB	Time Series Database
UID	Unique Identifier

DAFTAR ISTILAH

Backend	Bagian dari aplikasi perangkat lunak yang berjalan di sisi server dan bertanggung jawab atas logika bisnis, pemrosesan data, dan interaksi dengan database.
Dataset	Kumpulan data yang digunakan untuk analisis, pelatihan model, atau pengujian.
Endpoint	Titik akhir komunikasi dalam jaringan, biasanya berupa URL yang dapat diakses oleh klien untuk berinteraksi dengan layanan server.
ESP32-C3	Jenis mikrokontroler dengan konektivitas WiFi dan Bluetooth, digunakan sebagai perangkat IoT.
FastAPI	Kerangka kerja web modern berkinerja tinggi untuk membangun API dengan Python.
Firmware	Jenis perangkat lunak khusus yang menyediakan kontrol tingkat rendah untuk perangkat keras spesifik.
Frontend	Bagian dari aplikasi perangkat lunak yang berinteraksi langsung dengan pengguna, biasanya berupa antarmuka grafis.
Generalisasi	Kemampuan model deep learning untuk berkinerja baik pada data baru yang belum pernah dilihat sebelumnya (data uji atau data validasi).
Hyperparameter	Parameter konfigurasi yang nilainya ditetapkan sebelum proses pelatihan model deep learning dimulai.
InfluxDB	Sistem manajemen basis data deret waktu (time-series database) yang dioptimalkan untuk menangani data dengan stempel waktu.
Integrasi Arsitektural	Proses menggabungkan berbagai komponen atau subsistem perangkat lunak yang berbeda menjadi satu sistem yang kohesif dan fungsional.



Interoperabilitas	Kemampuan sistem atau komponen yang berbeda untuk bekerja bersama secara efektif.
Latensi	Waktu tunda antara inisiasi suatu tindakan dan respons yang dihasilkan.
Normalisasi	Proses mengubah skala nilai dalam suatu kolom numerik ke rentang standar tanpa mengubah perbedaan dalam rentang nilai.
MinMax Scaler	Teknik normalisasi data yang mengubah skala fitur ke rentang tertentu (biasanya 0 hingga 1).
Overfitting	Kondisi di mana model deep learning berkinerja sangat baik pada data pelatihan tetapi buruk pada data baru (data validasi atau uji), karena model terlalu mempelajari detail dan noise dari data pelatihan.
Pra-pemrosesan	Tahapan persiapan data mentah sebelum digunakan untuk analisis atau pelatihan model, meliputi pembersihan, transformasi, dan normalisasi.
Prompt Engineering	Proses merancang dan menyempurnakan input (prompt) yang diberikan kepada model bahasa besar (LLM) untuk mendapatkan output yang diinginkan.
Protokol	Seperangkat aturan yang mengatur pertukaran atau transmisi data antara perangkat dalam jaringan.
PZEM-004T	Sensor untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi.
Scalable (Skalabel)	Kemampuan sistem untuk menangani peningkatan beban kerja atau permintaan tanpa penurunan kinerja yang signifikan.
Time-series	Serangkaian titik data yang diindeks (atau dibuat grafiknya atau dicatat) dalam urutan waktu.
Throughput	Ukuran jumlah data yang berhasil ditransfer dari satu lokasi ke lokasi lain dalam periode waktu tertentu.



Token	Satuan dasar teks yang diproses oleh model bahasa besar, bisa berupa kata, sub-kata, atau karakter.
Validasi	Proses mengevaluasi kinerja model deep learning pada set data terpisah (data validasi) selama atau setelah pelatihan untuk mengukur kemampuan generalisasinya.
Vektor Embedding	Representasi numerik (vektor) dari teks atau entitas lain dalam ruang dimensi rendah, yang menangkap makna semantiknya.
Vue.js	Kerangka kerja JavaScript progresif untuk membangun antarmuka pengguna.
WebSocket	Protokol komunikasi komputer yang menyediakan kanal komunikasi dua arah (full-duplex) melalui satu koneksi TCP.
Windowing	Teknik membuat segmen-segmen (jendela) data berurutan dari deret waktu untuk digunakan sebagai input pada model prediktif.

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi arsitektur sistem manajemen energi cerdas yang mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT), *Deep Learning* berbasis *Long Short-Term Memory* (LSTM), dan *Large Language Models* (LLM) menggunakan *GPT-4 Turbo*. Meningkatnya konsumsi energi di sektor rumah tangga dan minimnya sistem pemantauan terintegrasi yang adaptif menjadi latar belakang utama. Metode penelitian menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) yang mencakup perancangan arsitektur, pengembangan komponen sistem (sensor IoT dengan ESP32-C3, server *backend* FastAPI, basis data InfluxDB, antarmuka Vue.js), integrasi model *LSTM* untuk prediksi konsumsi energi, dan implementasi *LLM* untuk interpretasi data serta pemberian rekomendasi. Dataset *REFIT Electrical Load Measurements: Cleaned (House_1)* digunakan untuk pelatihan model *LSTM* dengan pra-pemrosesan *MinMax Scaler* dan metrik evaluasi *Mean Absolute Error* (MAE). Kinerja komunikasi data *real-time* dievaluasi menggunakan protokol *WebSocket* dengan pengukuran latensi. Efektivitas *LLM* dalam memberikan *insight* diukur menggunakan *Cosine Similarity* antara keluaran *LLM* dan *expected output*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arsitektur yang diusulkan berhasil mengintegrasikan seluruh komponen secara fungsional. Komunikasi *WebSocket* menunjukkan kinerja yang responsif dengan latensi rata-rata 66,9 ms. Model *LSTM* mampu memprediksi konsumsi energi dengan *MAE* pada skala asli sebesar 15,90 Watt, dan *MAE* pada data IoT aktual sebesar 22,21 Watt. Integrasi *LLM* menunjukkan kemampuan yang baik dalam memberikan interpretasi data dengan skor *Cosine Similarity* rata-rata antara 0,6562 hingga 0,9690. Sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan solusi manajemen energi yang lebih cerdas, adaptif, dan mudah dipahami oleh pengguna.

Kata kunci: Energi, IoT, LSTM, LLM, Integrasi.

ABSTRACT

This research aims to develop and evaluate a smart energy management system architecture that integrates Internet of Things (IoT) technology, Deep Learning based on Long Short-Term Memory (LSTM), and Large Language Models (LLM) using GPT-4 Turbo. The increasing energy consumption in the household sector and the lack of adaptive integrated monitoring systems are the main motivations. The research method adopts a Research and Development (R&D) approach which includes architectural design, development of system components (IoT sensors with ESP32-C3, FastAPI backend server, InfluxDB database, Vue.js interface), LSTM model integration for energy consumption prediction, and LLM implementation for data interpretation and recommendation. The REFIT Electrical Load Measurements: Cleaned dataset (House_1) was used for LSTM model training with MinMax Scaler preprocessing and Mean Absolute Error (MAE) as the evaluation metric. Real-time data communication performance was evaluated using the WebSocket protocol with latency measurement. The effectiveness of the LLM in providing insights was measured using Cosine Similarity between the LLM output and the expected output. The research results show that the proposed architecture successfully integrates all components functionally. WebSocket communication demonstrates responsive performance with an average latency of 66.9 ms. The LSTM model is capable of predicting energy consumption with an MAE of 15.90 Watts on the original scale and 22.21 Watts on real IoT data. LLM integration shows good capability in providing data interpretation with an average Cosine Similarity score ranging from 0.6562 to 0.9690. This system is expected to contribute to the development of smarter, more adaptive, and user-friendly energy management solutions.

Keyword: Energy, IoT, LSTM, LLM, Integration.