

**PENGEMBANGAN DAN INTEGRASI GENERATIVE AI
PADA SISTEM MONITORING ENERGI LISTRIK UNTUK
ANALISIS MANAJEMEN ENERGI**

PROPOSAL TUGAS AKHIR



Oleh

Nafi Mulyo Kusumo 13321029

**PROGRAM STUDI TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
TAHUN 2025**

ABSTRAK

**PENGEMBANGAN DAN INTEGRASI GENERATIVE AI
PADA SISTEM MONITORING ENERGI LISTRIK UNTUK
ANALISIS MANAJEMEN ENERGI**

Oleh
Nafi Mulyo Kusumo NIM: 13321029

(Program Studi Teknik Fisika)

Dalam era digital yang semakin maju, kebutuhan akan pengelolaan energi yang efisien menjadi semakin penting, terutama dalam konteks keberlanjutan dan pengurangan biaya operasional. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengembangkan integrasi *Generative Artificial Intelligence* (GenAI) yang menggunakan model multi agen berbasis *Large Language Model* (LLM) ke dalam sistem monitoring energi listrik guna meningkatkan efisiensi analisis manajemen energi. Pengembangan ini memanfaatkan dua pendekatan: 1) *Hierarchical Graph Modeling*, yaitu teknik yang digunakan sistem untuk dapat memecahkan permasalahan analisis data kompleks menjadi sub-permasalahan yang lebih sederhana; dan 2) *Programmable Node Generation*, yaitu sebuah teknik yang digunakan sistem untuk menyelesaikan sub-permasalahan analisis data secara iteratif untuk memperbaiki dan memverifikasi solusi dengan *meta programming*. Selain itu, penelitian ini juga membandingkan beberapa model LLM, termasuk Llama 3.2, GPT-3.5 Turbo, GPT-4o, dan DeepSeek V3 untuk menentukan model yang paling efektif dalam konteks aplikasi ini.

Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu mengotomatisasi analisis konsumsi energi, mendeteksi anomali, serta memberikan rekomendasi manajemen energi yang optimal. Metode tugas akhir mencakup pengembangan GenAI yang terintegrasi dengan sistem monitoring energi yang ada, diikuti dengan pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem. Luaran utama dari tugas akhir ini adalah sistem monitoring energi listrik berbasis GenAI yang fungsional, serta laporan evaluasi kinerja yang mencakup akurasi analisis, durasi respon, perbandingan antarmodel, efektivitas rekomendasi, dan dampaknya terhadap manajemen energi.

Hasil tugas akhir diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas manajemen energi listrik melalui pemanfaatan teknologi GenAI, serta mendorong adopsi solusi berbasis teknologi dalam pengelolaan energi yang lebih baik.

Kata kunci: *generative AI* (GenAI), *large language model* (LLM), sistem monitoring energi, manajemen energi, analisis data, konsumsi energi

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND INTEGRATION OF GENERATIVE AI IN ELECTRICAL ENERGY MONITORING SYSTEM FOR ENERGY MANAGEMENT

By

Nafi Mulyo Kusumo NIM: 13321029

(Engineering Physics Study Program)

In an increasingly advanced digital era, the need for efficient energy management has become paramount, particularly in the context of sustainability and operational cost reduction. This thesis aims to develop the integration of Generative AI (GenAI) utilizing a multi-agent system based on Large Language Models (LLMs) into an electric energy monitoring system to enhance the efficiency of energy management analysis. This development employs two approaches: 1) Hierarchical Graph Modeling, a technique that allows the system to break down complex data analysis problems into simpler sub-problems; and 2) Programmable Node Generation, a technique used by the system to iteratively solve these sub-problems to refine and verify solutions using meta programming. Additionally, this research compares several LLM models, including Llama 3.2, GPT-3.5 Turbo, GPT-4o, and DeepSeek V3, to identify the most effective model for this application.

The developed system is expected to automate energy consumption analysis, detect anomalies, and provide optimal energy management recommendations. The methodology of this thesis includes the development of a GenAI model integrated with existing energy monitoring systems, followed by testing to evaluate the system's performance. The primary outcomes of this thesis will be a functional GenAI-based electric energy monitoring system and a performance evaluation report that encompasses analysis accuracy, response duration, model comparison, recommendation effectiveness, and its impact on energy management. Furthermore, this thesis will also focus on enhancing the User Interface/User Experience (UI/UX) to ensure the system is user-friendly and accessible to a diverse range of users.

The results of this thesis are anticipated to make a significant contribution to improving the efficiency and effectiveness of electric energy management through the utilization of GenAI technology, while also promoting the adoption of technology-based solutions for better energy management.

Keywords: generative AI (GenAI), large language model (LLM), energy monitoring system, energy management, data analysis, energy consumption.

**PENGEMBANGAN DAN INTEGRASI GENERATIVE AI
PADA SISTEM MONITORING ENERGI LISTRIK UNTUK
ANALISIS MANAJEMEN ENERGI**

HALAMAN PENGESAHAN

Oleh

Nafi Mulyo Kusumo 13321029

(Program Studi Teknik Fisika)

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui

Tim Pembimbing

Tanggal

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Irsyad Nashirul Haq, S.T., M.T.

NIP. 119110107

Faqihza Mukhlis, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 121110001

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR SINGKATAN.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan dan Sasaran	3
1.4 Batasan dan Asumsi	3
1.5 Ide Solusi.....	4
BAB II METODOLOGI DAN RENCANA PELAKSANAAN.....	5
2.1 Objek Penelitian	5
2.2 Luaran.....	7
2.3 Metodologi	7
2.3.1 Pemahaman Objek Penelitian dan Studi Pustaka	8
2.3.2 Pembuatan Kerangka Logika Program dan <i>Mock AI</i>	9
2.3.3 Pengembangan MAS-LLM	10
2.3.4 Pengembangan dan Integrasi <i>Agent Tools</i> untuk MAS-LLM ..	12
2.3.5 Pembuatan API MAS-LLM.....	13
2.3.6 Pengembangan Antarmuka ELISA, Bot LINE, dan Bot WhatsApp	14
2.3.7 Integrasi dan Peluncuran Sistem.....	15
2.3.8 Evaluasi Sistem.....	15
2.4 Rencana Pelaksanaan	15
2.4.1 Lokasi Tugas Akhir	15
2.4.2 Alat dan Bahan	16
2.4.3 Biaya.....	17
2.4.4 Jadwal Pelaksanaan	17
BAB III PENUTUP.....	20
DAFTAR PUSTAKA	21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tampilan halaman “Dashboard” ELISA.....	5
Gambar 2.2 Tampilan halaman “Daily” ELISA	6
Gambar 2.3 Tampilan halaman “Monthly” ELISA	6
Gambar 2.4 Tampilan halaman “Heatmap” ELISA.....	6
Gambar 2.5 Tampilan halaman “Faculty” ELISA	7
Gambar 2.6 Alur pengembangan tugas akhir.....	8

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Lokasi Pelaksanaan Tugas Akhir.....	15
Tabel 2.2 Alat dan Bahan Tugas Akhir.....	16
Tabel 2.3 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir.....	17
Tabel 2.4 Detail Kegiatan Pelaksanaan Tugas Akhir.....	18

DAFTAR SINGKATAN

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
AI	<i>Artificial Intelligence</i>	1
GenAI	<i>Generative AI</i>	1
LLM	<i>Large Language Model</i>	1
ELISA	Sistem Informasi Energi Listrik dan Air	2
ITB	Institut Teknologi Bandung	2
MAS	<i>Multi-Agent System</i>	4
MAS-LLM	<i>Multi-Agent System</i> berbasis <i>Large Language Model</i>	4
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>	4
RAG	<i>Retrieval-Augmented Generation</i>	4
SGAM	<i>Smart Grid Architecture Model</i>	9

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik memainkan peran penting dalam kehidupan sehari-hari, dan terdapat banyak bukti yang menunjukkan bahwa elektrifikasi meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan melalui peningkatan pasar tenaga kerja, pencapaian pendidikan, kesehatan, dan lain sebagainya [1]. Namun, ketergantungan pada listrik datang dengan biaya sosial yang besar karena ekonomi berkembang berjuang untuk memenuhi permintaan listrik yang terus meningkat [2]. Selain itu, karena listrik sebagian besar dihasilkan dari bahan bakar fosil (sekitar 60% di seluruh dunia pada tahun 2023) [3], peningkatan konsumsi listrik menyebabkan lebih banyak emisi gas rumah kaca, yang pada gilirannya mempercepat perubahan iklim. Tekanan untuk meningkatkan efisiensi manajemen energi tidak hanya bersumber dari kebutuhan mengurangi biaya operasional, tetapi juga menjadi imperatif global dalam mendukung keberlanjutan lingkungan. Di tengah kompleksitas sistem energi modern dan tingginya permintaan konsumsi, terdapat beberapa kekurangan dalam metode analisis energi konvensional yang mungkin membuatnya kurang memadai untuk menghadapi tantangan ini.

Sistem monitoring energi yang umum ada saat ini, meski mampu menyediakan visualisasi data dasar, masih meninggalkan celah analitis yang signifikan. Data yang terpampang pada antarmuka sistem monitoring energi sering kali terbatas pada level deskripsi, tanpa mampu mengekstraksi wawasan mendalam tentang pola konsumsi, anomali penggunaan, atau potensi penghematan tersembunyi. Selain itu, proses analisis masih mengandalkan manipulasi data manual berbasis koding yang memerlukan keahlian teknis spesifik. Dua konsekuensi utama muncul dari kondisi ini: pertama, terciptanya hambatan aksesibilitas bagi pengguna awam non-teknis; kedua, melambatnya siklus pengambilan keputusan yang justru krusial dalam dinamika manajemen energi.

Di tengah masalah ini, perkembangan pesat *artificial intelligence* (AI), khususnya *Generative Artificial Intelligence* (GenAI) dan *Large Language Model* (LLM),

dimulai dengan dirilisnya ChatGPT pada November 2024, menawarkan paradigma baru [4], [5], [6]. Teknologi ini tidak sekadar menjanjikan automasi proses analitik, tetapi lebih jauh memungkinkan transformasi data mentah menjadi *actionable insight* melalui interaksi *natural language* [7], [8]. Integrasi GenAI berbasis LLM dengan sistem monitoring energi berpotensi mendemokratisasi akses analisis data energi [9], [10], sehingga pengguna dari berbagai latar belakang keahlian dapat melakukan investigasi data penggunaan energi, mengidentifikasi pola, bahkan merumuskan strategi penghematan berbasis AI, semua melalui antarmuka percakapan intuitif.

Konteks spesifik penelitian ini mengakar pada implementasi Sistem Informasi Energi Listrik dan Air (ELISA) di Institut Teknologi Bandung (ITB). Saat ini, ITB telah menggunakan sistem ELISA untuk memantau dan menganalisis konsumsi energi listrik. Meskipun ELISA memberikan beberapa kemudahan dalam visualisasi data, masih terdapat keterbatasan dalam hal analisis yang lebih mendalam dan otomatisasi proses. Oleh karena itu, integrasi GenAI berbasis LLM diharapkan dapat meningkatkan efisiensi analisis manajemen energi dengan membangun sistem yang tidak hanya memantau, tetapi juga mampu bernalar (*reasoning*) terhadap data historis dan *real-time*, memberikan rekomendasi kontekstual, serta mengoptimalkan keputusan manajemen energi melalui kolaborasi agen-agen AI spesialis [7].

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang menjadi fokus dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara mengintegrasikan GenAI berbasis LLM ke dalam sistem monitoring energi listrik ELISA yang ada untuk meningkatkan efisiensi analisis manajemen energi?
2. Bagaimana cara untuk mengotomasi analisis konsumsi energi, deteksi anomali, dan rekomendasi manajemen energi dalam sistem yang dikembangkan?
3. Bagaimana kinerja sistem yang dikembangkan dalam hal akurasi analisis, efektivitas rekomendasi, dan dampaknya terhadap pengelolaan energi, serta

apa model LLM terbaik yang dapat digunakan oleh sistem berdasarkan kriteria tersebut?

1.3 Tujuan dan Sasaran

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah dirumuskan, tujuan yang ditetapkan untuk tugas akhir ini adalah untuk meningkatkan efisiensi sistem manajemen energi melalui integrasi teknologi GenAI.

Berdasarkan tujuan, sasaran dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan integrasi GenAI berbasis LLM ke dalam sistem monitoring energi listrik ELISA ITB untuk meningkatkan efisiensi analisis manajemen energi.
2. Mengotomasi analisis konsumsi energi, deteksi anomali, dan rekomendasi manajemen energi.
3. Melakukan evaluasi kinerja sistem yang dikembangkan, termasuk akurasi analisis, efektivitas rekomendasi, dan dampaknya terhadap pengelolaan energi, serta melakukan perbandingan untuk menentukan model LLM terbaik yang dapat digunakan oleh sistem berdasarkan kriteria tersebut.

1.4 Batasan dan Asumsi

Batasan yang ditetapkan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini hanya akan menggunakan data konsumsi energi listrik yang diambil dari sensor dan perangkat monitoring yang sudah ada pada sistem ELISA, sehingga analisis data yang dilakukan hanya terbatas pada data tersebut.
2. Algoritma analisis data yang digunakan terbatas pada algoritma yang dipelajari oleh LLM, tanpa menggunakan algoritma terbaru yang mungkin tidak dipahami oleh model.
3. Penelitian ini akan membandingkan model LLM tertentu, seperti Llama 3.2, GPT-3.5 Turbo dan GPT-4o, dan DeepSeek V3.
4. Penelitian ini tidak akan membandingkan perangkat keras atau infrastruktur yang digunakan dalam sistem monitoring energi listrik.

5. Analisis biaya yang dilakukan hanya akan mencakup biaya dasar untuk model LLM, tanpa mempertimbangkan infrastruktur yang mendukung.
6. Pengujian efektivitas rekomendasi sistem dibatasi pada pengalaman dosen, peneliti, dan mahasiswa yang terlibat dalam penelitian ini.

Adapun asumsi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Diasumsikan bahwa data yang digunakan memiliki kualitas yang cukup baik untuk analisis dan tidak memerlukan pembersihan yang signifikan.
2. Diasumsikan bahwa sistem monitoring energi yang ada berfungsi dengan baik dan tidak mengalami gangguan signifikan selama penelitian.
3. Diasumsikan bahwa pengguna hanya akan melakukan analisis berdasarkan data konsumsi energi listrik yang diambil dari sensor dan perangkat monitoring yang sudah ada, dan tidak akan melakukan analisis di luar data tersebut.

1.5 Ide Solusi

Pada tugas akhir ini, solusi yang diusulkan mencakup pengembangan *multi-agent system* (MAS) berbasis LLM, selanjutnya disingkat MAS-LLM, untuk melakukan *meta programming* dalam penulisan kode analisis data [11], yang memanfaatkan metode *hierarchical graph modeling* [12], *programmable node generation* [12], dan *prompt engineering* untuk memastikan hasil generasi kode yang akurat [13]. Selanjutnya, MAS-LLM akan diintegrasikan dengan data dari sistem monitoring energi ELISA melalui sensor yang ada menggunakan teknik *retrieval-augmented generation* (RAG) [14], lalu sistem diluncurkan pada *virtual machine* ELISA yang dilengkapi *graphics processing unit* (GPU). Kemudian, MAS-LLM diintegrasikan dengan *platform bot* LINE dan WhatsApp untuk memudahkan evaluasi berdasarkan umpan balik pengguna secara dini. Berikutnya, Antarmuka pengguna akan dirancang agar interaksi dapat diakses melalui halaman web ELISA. Langkah terakhir adalah melakukan evaluasi untuk menilai kinerja sistem yang dikembangkan. Evaluasi sistem akan melibatkan iterasi untuk *model redeployment*, sehingga menciptakan *feedback loop* yang memungkinkan perbaikan berkelanjutan berdasarkan masukan pengguna.

BAB II

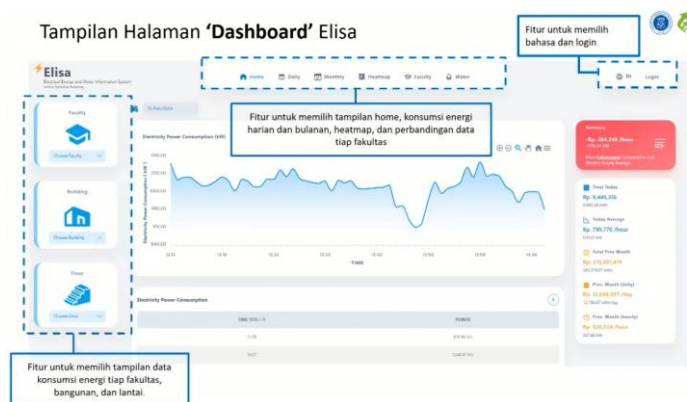
METODOLOGI DAN RENCANA PELAKSANAAN

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian pada tugas akhir ini adalah sistem monitoring energi listrik yang tersedia di ITB, yaitu Sistem Informasi Energi Listrik dan Air (ELISA). ELISA didesain untuk dapat melacak penggunaan energi listrik dan air di ITB secara *real-time*, membantu pengguna membangun kesadaran akan efisiensi energi dan potensi penghematan biaya. Sistem ini mengumpulkan dan menganalisis data *real-time* tentang konsumsi energi di berbagai gedung dan fakultas, menawarkan wawasan tentang penggunaan listrik harian, bulanan, dan real-time [15].

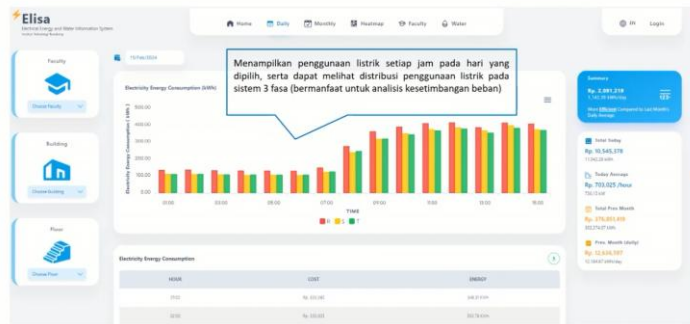
Sistem ini mengintegrasikan teknologi IoT dan dilengkapi meteran daya digital untuk mengukur parameter listrik seperti arus, tegangan, dan daya. Data dikirimkan menggunakan protokol Modbus ke *server*, yang memungkinkan pengguna untuk mengakses dan menganalisis data energi dari jarak jauh melalui dasbor web ELISA.

Dasbor ELISA menawarkan fitur-fitur seperti dasbor utama (**Gambar 2.1**), ringkasan konsumsi harian (**Gambar 2.2**) dan bulanan (**Gambar 2.3**), *heatmap* distribusi energi (**Gambar 2.4**), dan perbandingan penggunaan antar-fakultas (**Gambar 2.5**). Sistem ini juga memungkinkan pengguna untuk memantau keseimbangan energi dalam sistem tiga fase, yang menyediakan informasi berharga untuk mengoptimalkan manajemen energi dan mengurangi biaya operasional.



Gambar 2.1 Tampilan halaman “Dashboard” ELISA

Tampilan Halaman 'Daily' HMI Elisa



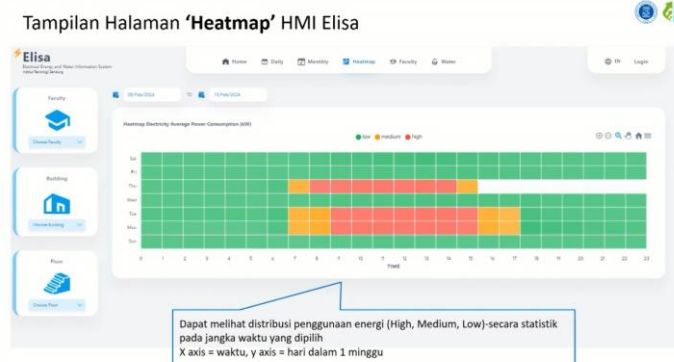
Gambar 2.2 Tampilan halaman "Daily" ELISA

Tampilan Halaman 'Monthly' HMI Elisa

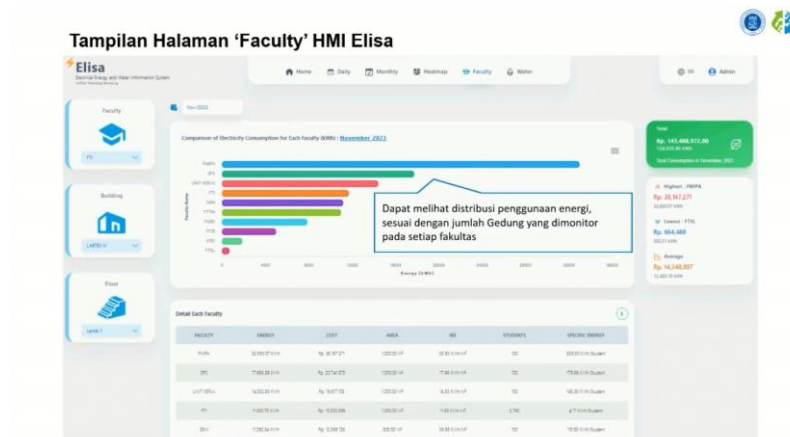


Gambar 2.3 Tampilan halaman "Monthly" ELISA

Tampilan Halaman 'Heatmap' HMI Elisa



Gambar 2.4 Tampilan halaman "Heatmap" ELISA



Gambar 2.5 Tampilan halaman “Faculty” ELISA

Melalui dasbor ELISA, pengguna dapat mengukur total volume penggunaan energi dan air di seluruh area kampus ITB. Ini termasuk pemantauan konsumsi daya, arus listrik, dan voltase secara real-time selama periode tertentu, seperti jam terakhir. Pengguna dapat melacak pola energi harian dan bulan, yang memungkinkan manajemen dan perencanaan energi yang efisien. Fitur *heatmap* sistem menyoroti waktu konsumsi puncak, mengkategorikan penggunaan energi menjadi intensitas *high*, *medium*, dan *low*. Selain itu, ELISA memungkinkan analisis komparatif antara gedung dan fakultas, yang membantu ITB mengoptimalkan efisiensi energi berdasarkan metrik tertentu seperti ukuran gedung dan populasi mahasiswa.

2.2 Luaran

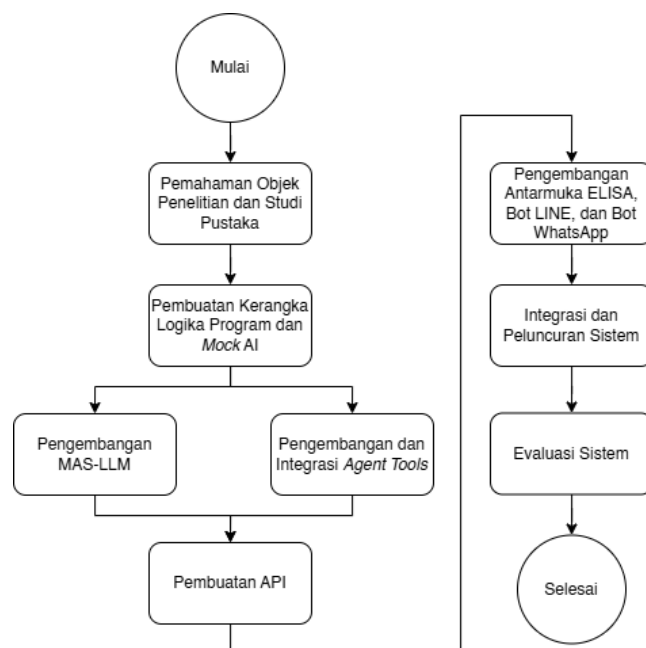
Luaran utama dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Penambahan fitur GenAI dalam ELISA yang mampu menganalisis dan memberikan rekomendasi manajemen energi.
2. Laporan evaluasi kinerja sistem, mencakup akurasi analisis, efektivitas rekomendasi, perbandingan beberapa model LLM, dan dampaknya terhadap manajemen energi.

2.3 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti alur pengembangan yang sistematis, seperti yang ditunjukkan dalam diagram alur (*flowchart*) pada **Gambar 2.6**. Proses dimulai dengan pemahaman objek penelitian dan studi pustaka yang mendalam. Selanjutnya, kerangka logika program dan *mock AI* akan dibuat. Dalam

tahap ini, terdapat dua jalur pengembangan yang dilakukan secara bersama: pertama, pengembangan MAS-LLM, dan kedua, pengembangan serta integrasi alat agen (*agent tools*). Selain itu, pembuatan *application programming interface* (API) juga akan dilakukan untuk mendukung interaksi sistem. Kemudian, fokus beralih ke pengembangan antarmuka ELISA, bot LINE, dan bot WhatsApp, diikuti dengan integrasi sistem secara keseluruhan. Proses diakhiri dengan evaluasi sistem untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik sebelum menyelesaikan tugas akhir. Masing-masing tahap akan dijelaskan secara rinci pada subbab berikutnya.



Gambar 2.6 Alur pengembangan tugas akhir

2.3.1 Pemahaman Objek Penelitian dan Studi Pustaka

Langkah pertama yang akan dilakukan adalah mempelajari objek penelitian, yaitu ELISA, serta melakukan studi literatur yang mendukung pelaksanaan tugas akhir. Fokus utama dalam pemahaman objek penelitian ini adalah mempelajari *business value*, arsitektur sistem, infrastruktur, *server*, dan antarmuka pengguna (*front-end*) ELISA. Dengan pemahaman yang mendalam mengenai aspek-aspek tersebut, diharapkan tugas akhir dapat dilaksanakan sesuai dengan *business value* yang telah ditetapkan oleh ELISA dan kompatibel dengan arsitektur yang telah diterapkan.

Studi pustaka juga akan dilakukan dengan harapan dapat memberikan kontribusi dalam pelaksanaan tugas akhir ini. Beberapa konsep yang menjadi topik penting dalam studi literatur meliputi:

- a. Sistem monitoring energi, termasuk konsep sistem *smart grid*, *smart grid architecture model* (SGAM), *decision support system*, dan *user interface*.
- b. GenAI dan LLM, termasuk konsep dasar GenAI dan LLM, *prompt engineering*, dan RAG.
- c. *Multi-Agent System*.
- d. *Meta Programming*.

2.3.2 Pembuatan Kerangka Logika Program dan *Mock AI*

Langkah kedua adalah pembuatan kerangka logika program yang dilakukan untuk menyusun struktur dasar dari sistem yang akan dikembangkan. Kerangka logika ini berfungsi sebagai panduan dalam pengembangan fitur-fitur yang akan diimplementasikan dalam sistem. Pembuatan kerangka logika program dilakukan dengan memanfaatkan prinsip *Object Oriented Programming* (OOP) untuk menyusun struktur dasar dari sistem yang akan dikembangkan. Pendekatan OOP ini memungkinkan pengembangan yang lebih modular dan mudah dipelihara [16].

Mock AI akan dibuat sebagai *mock object* untuk MAS-LLM. *Mock object* adalah representasi dari objek yang digunakan dalam pengujian untuk mensimulasikan perilaku objek nyata [17], [18]. *Mock AI* berfungsi untuk mensimulasikan fungsi-fungsi yang diharapkan dari MAS-LLM dan menguji interaksi antar komponen, sehingga memungkinkan pengujian dan validasi logika program sebelum implementasi penuh dilakukan.

Pendekatan OOP dan penggunaan MAS-LLM ini akan membantu dalam menerapkan *test-driven development* (TDD) [19], yang akan diterapkan pada tugas akhir ini, di mana pengujian dilakukan secara iteratif untuk memastikan bahwa setiap komponen berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Dengan langkah-langkah ini, diharapkan kerangka logika program dan *mock AI* dapat memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan berikutnya.

2.3.3 Pengembangan MAS-LLM

Langkah ketiga yang akan dilakukan adalah pengembangan MAS-LLM yang mampu melakukan analisis data energi secara otomatis. Tahap ini akan memanfaatkan *framework* MetaGPT [11], sebuah *framework* yang dikembangkan oleh S. Hong, dkk. untuk menciptakan MAS-LLM yang bersifat agnostik terhadap model, sehingga memungkinkan pemilihan model-model LLM yang ada secara bebas. Pada tahap ini, metode *prompt engineering* digunakan untuk merancang instruksi yang efektif dalam memandu model dalam melakukan analisis [13], [20]. Proses ini juga memanfaatkan teknik RAG untuk memperoleh hasil yang relevan terhadap data atau basis pengetahuan yang diberikan kepada tiap agen [14].

Beberapa agen LLM yang akan dikembangkan pada tahap ini adalah:

- a. *Prompt Validation and General Knowledge Agent*: Agen ini memiliki dua fungsi utama. Pertama, agen ini berguna untuk memvalidasi *prompt* dari pengguna, memastikan bahwa *prompt* tersebut relevan dan berkaitan dengan *use case* ELISA. Jika *prompt* tidak relevan, agen ini akan langsung memberikan umpan balik kepada pengguna untuk mengulangi dengan *prompt* yang lebih spesifik atau relevan. Output dari agen ini adalah format terstruktur untuk mengklasifikasikan jenis *prompt* pengguna, yang mencakup kategori seperti:
 - “Unrelevant”: *Prompt* yang tidak memiliki hubungan dengan *use case* ELISA
 - “Not Answerable”: *Prompt* yang tidak dapat dijawab oleh sistem karena kurangnya informasi atau kejelasan.
 - “Basic Knowledge”: *Prompt* yang berkaitan dengan informasi dasar mengenai ELISA, ITB, atau penggunaan energi listrik secara umum.
 - “Basic Data Analysis”: *Prompt* yang meminta analisis data sederhana, seperti perhitungan dasar atau visualisasi data.
 - “Advanced Data Analysis”: *Prompt* yang memerlukan analisis yang lebih kompleks, termasuk teknik statistik atau pemodelan data yang lebih mendalam.

Setelah agen ini memberikan jawaban, program akan menentukan langkah selanjutnya berdasarkan kategori yang dihasilkan. Jika *prompt* termasuk dalam kategori pengetahuan dasar atau pertanyaan umum mengenai ELISA, maka jawaban akan langsung disampaikan kepada pengguna. Namun, jika *prompt* termasuk dalam kategori analisis data, program akan meminta bantuan dari agen lain yang lebih spesifik, seperti *Planner Agent* atau *Code Generator Agent*, untuk melakukan analisis yang lebih mendalam. Dengan demikian, sistem dapat memastikan bahwa setiap pertanyaan ditangani dengan cara yang paling efektif dan efisien, sesuai dengan kompleksitas dan kebutuhan analisis yang diminta oleh pengguna.

- b. *Tool Recommender Agent*: Agen ini memiliki wawasan tentang alat-alat yang disediakan oleh penulis yang bisa dipakai oleh agen, seperti alat untuk mengambil data dari *database*, melakukan interaksi dengan API ELISA, menulis kode pembelajaran mesin, dan alat untuk menyimpan hasil analisis ke *database*, baik dalam format CSV maupun gambar.
- c. *Planner Agent*: Agen ini dapat melakukan perencanaan untuk menyelesaikan masalah analisis data yang kompleks. Agen ini bertanggung jawab atas *prompt* pengguna yang dikategorikan “Advanced Data Analysis”. Agen ini memanfaatkan metode *hierarchical graph modeling* [12], yang dikembangkan oleh S. Hong, dkk., untuk menyusun sebuah graf yang merupakan representasi dari rencana mengerjakan analisis data, misalnya memecah masalah prediksi kompleks menjadi tahapan tugas berbentuk *task node*: pengumpulan data, analisis data eksploratif, rekayasa fitur, pemodelan data, dan visualisasi data. Agen ini bekerja sama dengan *Tool Recommender Agent* untuk menyediakan alat yang relevan di setiap tahapan tugas.
- d. *Code Generator Agent*: Agen ini bertanggung jawab untuk menghasilkan kode analisis data dalam bentuk *Jupyter Notebook* dengan memanfaatkan metode *programmable node generation* [12], yang dikembangkan oleh S. Hong, dkk.,. Metode ini memungkinkan hasil kode yang akurat dengan mengintegrasikan *Code Generator Agent*, *Code Reviewer Agent*, *Tool Recommender Agent*, dan *agent tools*. Apabila *prompt* pengguna

dikategorikan “Basic Data Analysis”, maka agen ini akan secara langsung mengambil *task node* berdasarkan output dari *Prompt Validation and General Knowledge Agent*. Apabila *prompt* pengguna dikategorikan “Advanced Data Analysis”, maka agen ini akan secara iteratif mengerjakan tugas yang diberikan oleh *Planner Agent*. Hasil kode ini kemudian akan dieksekusi oleh program.

- e. *Code Reviewer Agent*: Jika terdapat kesalahan atau *error* dari hasil eksekusi kode yang dibuat oleh *Code Generator Agent*, maka agen ini akan memberikan umpan balik berupa *prompt* untuk mengulangi proses pembuatan kode.
- f. *Result Interpreter Agent*: Setelah semua kode berhasil dieksekusi dan menghasilkan analisis data, agen ini akan merangkum hasil analisis dan mengubahnya menjadi bentuk terstruktur yang kemudian dapat diterima dan dikirim melalui API.

2.3.4 Pengembangan dan Integrasi *Agent Tools* untuk MAS-LLM

Langkah keempat adalah pengembangan dan integrasi *agent tools* untuk MAS-LLM. *Agent tools* merujuk pada sekumpulan *function* yang dirancang untuk mendukung MAS-LLM dalam menghasilkan kode. Alat ini memungkinkan agen untuk melakukan berbagai tugas, seperti pengambilan data, menyimpan, dan berinteraksi dengan sistem lainnya. Beberapa *agent tools* yang akan dikembangkan untuk MAS-LLM ini adalah:

- a. *Cache Store Tool*: Alat yang dapat digunakan untuk menyimpan data analisis ke dalam *cache* untuk mempercepat pemrosesan tanpa berulang kali mengambil data dari API ELISA atau dari *database* ELISA.
- b. *ELISA API Tool*: Alat yang dapat digunakan untuk mengakses API ELISA untuk mengambil data. Beberapa API yang dapat digunakan adalah:
 - *Comparison API*: Mengembalikan data komparasi penggunaan energi listrik bulanan antar fakultas untuk bulan tertentu.
 - *Faculty API*: Mengembalikan list fakultas.
 - *Building API*: Mengembalikan list gedung.

- *Floor API*: Mengembalikan list lantai dalam gedung spesifik.
 - *Monthly Data AP*: Mengembalikan data energi dan biaya untuk bulan spesifik .
 - *Daily Data API*: Mengembalikan data energi dan biaya untuk hari spesifik.
 - *Heatmap API*: Mengembalikan data pemakaian energi dalam sebuah time range untuk keperluan *heatmap*.
 - *Fetch Now API*: Mengembalikan data realtime untuk timestamp saat ini, mengembalikan data hari ini.
- c. *Database API*: Alat yang dapat digunakan untuk menyimpan data hasil analisis, *history prompt*, dan kode hasil analisis ke database terkhusus untuk menyimpan jawaban akhir.
 - d. *Data Visualization Tool*: Alat yang dapat digunakan untuk menghasilkan visualisasi data berbentuk gambar.
 - e. Beberapa *tools* lainnya, apabila dibutuhkan saat tahap pengembangan.

2.3.5 Pembuatan API MAS-LLM

Langkah kelima adalah pengembangan API MAS-LLM dijalankan menggunakan bahasa pemrograman Python dan beroperasi pada sistem yang berbeda dari antarmuka *front-end* ELISA. Oleh karena itu, pengembangan API diperlukan untuk memastikan komunikasi yang efektif antara MAS-LLM dan sistem lainnya.

Pengembangan API dilakukan menggunakan FastAPI, yang dipilih karena kemudahannya dalam mengembangkan API dengan cepat dan mudah, serta fleksibilitasnya sebagai *library*. Beberapa API yang akan dikembangkan meliputi:

- a. *Web API*: API ini dirancang untuk digunakan oleh antarmuka web ELISA dan berfungsi sebagai penghubung antara pengguna web dan MAS-LLM. Web API menerima input berupa *prompt* dari pengguna dan mengembalikan hasil analisis dalam bentuk *array of dictionary*. Hasil ini mencakup berbagai *field*, seperti ID, data hasil analisis, jenis visualisasi, dan penjelasan dalam bentuk teks.

- b. LINE API: API ini dirancang untuk digunakan oleh bot LINE ELISA dan berfungsi sebagai penghubung antara pengguna LINE dan MAS-LLM. LINE API menerima input berupa *prompt* dari pengguna dan mengembalikan hasil analisis dalam bentuk *array of dictionary*. Hasil ini mencakup berbagai *field*, seperti ID, tautan gambar visualisasi, dan penjelasan dalam bentuk teks.
- c. WhatsApp API: API ini dirancang untuk digunakan oleh bot WhatsApp ELISA dan berfungsi sebagai penghubung antara pengguna WhatsApp dan MAS-LLM. WhatsApp API menerima input berupa *prompt* dari pengguna dan mengembalikan hasil analisis dalam bentuk *array of dictionary*. Hasil ini mencakup berbagai *field*, seperti ID, tautan gambar visualisasi, dan penjelasan dalam bentuk teks.

2.3.6 Pengembangan Antarmuka ELISA, Bot LINE, dan Bot WhatsApp

Langkah keenam adalah pengembangan antarmuka ELISA untuk memastikan integrasi yang optimal dengan MAS-LLM. Dalam pengembangan ini, akan dibuat halaman baru yang dirancang khusus dengan nama “Smart Analysis”. Halaman ini akan menyediakan area input teks di mana pengguna dapat memasukkan pertanyaan terkait penggunaan energi listrik di ITB. Pengguna juga dapat menyampaikan pertanyaan secara lisan dengan fitur *speech-to-text transcription*. Dengan antarmuka yang intuitif, pengguna diharapkan dapat dengan mudah berinteraksi dengan sistem.

Kemudian, untuk mendukung evaluasi sistem, pengembangan platform LINE dan WhatsApp akan dilakukan. Melalui kedua platform ini, umpan balik dari pengguna dapat dikumpulkan secara langsung, yang akan memudahkan proses evaluasi dan perbaikan berkelanjutan. Pengembangan ini dilakukan dengan membuat *webhook*, di mana LINE akan memanfaatkan *LINE Developer Platform*, sedangkan WhatsApp akan menggunakan *WhatsApp Business Platform*.

Selain itu, *prompt* dan respons dari pengguna akan disimpan secara otomatis ke *Google Sheets* dengan menggunakan *Google Apps Script*.

2.3.7 Integrasi dan Peluncuran Sistem

Langkah ketujuh adalah mengintegrasikan API MAS-LLM dengan antarmuka web ELISA, serta platform LINE dan WhatsApp. Proses integrasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua komponen sistem dapat berfungsi secara harmonis, memungkinkan pertukaran data yang efisien antara MAS-LLM dan antarmuka pengguna. Setelah integrasi selesai, sistem akan diluncurkan untuk pengguna, memungkinkan mereka mengakses analisis data secara detail dan interaktif.

2.3.8 Evaluasi Sistem

Tahap akhir dalam tugas akhir ini adalah evaluasi sistem, yang akan dilakukan berdasarkan hasil output yang dikembalikan oleh MAS-LLM serta performa respons yang dihasilkan. Beberapa aspek yang akan dievaluasi mencakup akurasi analisis, efektivitas rekomendasi, dan dampaknya terhadap pengelolaan energi. Selain itu, berbagai model LLM akan dibandingkan dalam tahap ini, termasuk GPT-4o, GPT-3.5 Turbo, DeepSeek V3, dan Llama 3.2. Proses evaluasi ini akan dilakukan melalui bot LINE dan bot WhatsApp yang telah dikembangkan sebelumnya, yang memungkinkan pengumpulan umpan balik secara langsung dari pengguna. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh wawasan yang mendalam mengenai kinerja sistem dan area yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan efektivitas analisis energi di masa mendatang.

2.4 Rencana Pelaksanaan

2.4.1 Lokasi Tugas Akhir

Lokasi pelaksanaan tugas akhir ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Lokasi Pelaksanaan Tugas Akhir

No	Lokasi	Instansi	Kegiatan	Kesediaan
----	--------	----------	----------	-----------

1	Laboratorium Manajemen Energi, Gedung Labtek VI ITB Ganesha	Program Studi Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung	Konfigurasi Infrastruktur dan Server	Siap
---	--	---	--	------

2.4.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan tugas akhir ditunjukkan pada tabel **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Alat dan Bahan Tugas Akhir

No	Nama alat / bahan	Banyak	Kegiatan	Ketersediaan
1	Laptop pribadi	1	Pengembangan MAS-LLM, <i>agent tools</i> , API, antarmuka, dan bot.	Siap
2	Server ELISA dengan GPU Nvidia RTX 4060	1	Integrasi dan peluncuran sistem.	Siap
3	PROXMOX Virtual Environtment 8.2.7	1	Integrasi dan peluncuran sistem.	Siap
4	Sistem Hardware Lapangan ELISA	1	Pemahaman objek penelitian.	Siap
5	LINE Developer Platform	1	Pengembangan bot LINE.	Siap
6	WhatsApp Business Platform	1	Pengembangan bot WhatsApp.	Siap

2.4.3 Biaya

Pada penelitian ini, semua alat dan bahan berbiaya sudah dsediakan oleh Laboratorium Manajemen Energi Teknik Fisika ITB, yang merupakan lokasi pelaksanaan tugas akhir. Sumber pembiayaan diakomodasi oleh Institut Teknologi Bandung.

2.4.4 Jadwal Pelaksanaan

Jadwal pelaksanaan tugas akhir ditunjukkan dalam lini masa pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir

No	Kegiatan	Bulan / Pekan											
		Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pemahaman Objek Penelitian dan Studi Pustaka												
2	Pembuatan Kerangka Logika Program												
3	Pengembangan MAS-LLM												
4	Pengembangan dan Integrasi <i>Agent Tool</i>												
5	Pengembangan API MAS-LLM												
6	Pengembangan Antarmuka ELISA												
7	Pengembangan Bot LINE dan Bot WhatsApp												
8	Integrasi dan Peluncuran Sistem												
9	Evaluasi Sistem												
10	Pengerjaan dan Penyelesaian Laporan Tugas Akhir												

Detail kegiatan di dalam linimasa terdapat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Detail Kegiatan Pelaksanaan Tugas Akhir

No	Kegiatan	Luaran	Kendala
1	Pemahaman Objek Penelitian dan Studi Pustaka	Pemahaman mendalam tentang ELISA dan literatur terkait.	Tidak ada kendala
2	Pembuatan Kerangka Logika Program	Kerangka logika program yang terstruktur dan modular.	Kesulitan dalam merancang algoritma yang efisien
3	Pengembangan MAS-LLM	Model MAS-LLM yang dapat melakukan analisis data energi.	Keterbatasan dalam infrastruktur menjalankan model
4	Pengembangan dan Integrasi Agent Tool	Alat agen yang berfungsi untuk mendukung analisis dan interaksi.	Tidak ada kendala
5	Pengembangan API MAS-LLM	API yang dapat diakses untuk interaksi dengan sistem.	Tidak ada kendala
6	Pengembangan Antarmuka ELISA	Antarmuka pengguna yang intuitif dan interaktif.	Kesulitan dalam mendesain antarmuka yang mungkin tidak memenuhi harapan pengguna.
7	Pengembangan Bot LINE dan Bot WhatsApp	Bot yang dapat mengumpulkan umpan balik pengguna secara efektif.	Kesulitan dalam mengatur <i>webhook</i> dan integrasi dengan <i>platform</i> .
8	Integrasi dan Peluncuran Sistem	Sistem yang terintegrasi dan siap digunakan.	Masalah teknis saat mengintegrasikan berbagai komponen.

9	Evaluasi Sistem	Laporan evaluasi yang mencakup akurasi dan efektivitas sistem.	Tidak ada kendala
10	Pengerjaan dan Penyelesaian Laporan Tugas Akhir	Laporan tugas akhir yang komprehensif dan terstruktur.	Tidak ada kendala

BAB III

PENUTUP

Dalam proposal ini, rencana pengembangan dan integrasi GenAI pada sistem monitoring energi untuk analisis manajemen energi telah disusun. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi analisis manajemen energi melalui otomatisasi proses analisis konsumsi energi, deteksi anomali, dan penyediaan rekomendasi manajemen energi yang optimal. Perbandingan beberapa model LLM, termasuk Llama 3.2, GPT-3.5 Turbo, GPT-4o, dan DeepSeek V3, juga direncanakan untuk menentukan model yang paling efektif dalam konteks aplikasi ini.

Kritik dan saran yang konstruktif dari para pembaca, dosen, dan rekan-rekan sejawat sangat dihargai dan dianggap penting untuk penyempurnaan proposal dan pelaksanaan tugas akhir ini. Terima kasih diucapkan untuk seluruh dukungan dari berbagai pihak selama penyusunan proposal ini, terutama kepada dosen pembimbing dan rekan-rekan yang telah memberikan motivasi dan bantuan. Dengan demikian, diharapkan proposal ini dapat menjadi dasar yang kuat untuk pengembangan sistem monitoring energi listrik berbasis GenAI yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Lee, E. Miguel, dan C. Wolfram, “Does Household Electrification Supercharge Economic Development?,” *J. Econ. Perspect.*, vol. 34, no. 1, hlm. 122–144, Feb 2020, doi: 10.1257/jep.34.1.122.
- [2] R. K. Pachauri, L. Mayer, dan Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed., *Climate change 2014: synthesis report*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015.
- [3] “Statistical Review of World Energy.” Diakses: 5 Maret 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.energyinst.org/statistical-review>
- [4] R. K. Gatla, A. Gatla, P. Sridhar, D. G. Kumar, dan D. S. N. M. Rao, “Advancements in Generative AI: Exploring Fundamentals and Evolution,” dalam *2024 International Conference on Electronics, Computing, Communication and Control Technology (ICECCC)*, Mei 2024, hlm. 1–5. doi: 10.1109/ICECCC61767.2024.10594003.
- [5] S. Minaee dkk., “Large Language Models: A Survey,” 20 Februari 2024, *arXiv*: arXiv:2402.06196. doi: 10.48550/arXiv.2402.06196.
- [6] H. Naveed dkk., “A Comprehensive Overview of Large Language Models,” 17 Oktober 2024, *arXiv*: arXiv:2307.06435. doi: 10.48550/arXiv.2307.06435.
- [7] L. Weng dkk., “InsightLens: Augmenting LLM-Powered Data Analysis with Interactive Insight Management and Navigation,” 21 Desember 2024, *arXiv*: arXiv:2404.01644. doi: 10.48550/arXiv.2404.01644.
- [8] L. Shen, H. Li, Y. Wang, dan H. Qu, “From Data to Story: Towards Automatic Animated Data Video Creation with LLM-based Multi-Agent Systems,” 7 Agustus 2024, *arXiv*: arXiv:2408.03876. doi: 10.48550/arXiv.2408.03876.
- [9] R. Lingo, “The Role of ChatGPT in Democratizing Data Science: An Exploration of AI-facilitated Data Analysis in Telematics,” 26 Juli 2023, *arXiv*: arXiv:2308.02045. doi: 10.48550/arXiv.2308.02045.
- [10] “Democratizing statistics: How AI can empower everyone (without causing disasters) — Stanford Digital Economy Lab.” Diakses: 5 Maret 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://digitaleconomy.stanford.edu/news/democratizing-statistics-how-ai-can-empower-everyone-without-causing-disasters/>
- [11] S. Hong dkk., “MetaGPT: Meta Programming for A Multi-Agent Collaborative Framework,” 1 November 2024, *arXiv*: arXiv:2308.00352. doi: 10.48550/arXiv.2308.00352.
- [12] S. Hong dkk., “Data Interpreter: An LLM Agent For Data Science,” 15 Oktober 2024, *arXiv*: arXiv:2402.18679. doi: 10.48550/arXiv.2402.18679.
- [13] P. Sahoo, A. K. Singh, S. Saha, V. Jain, S. Mondal, dan A. Chadha, “A Systematic Survey of Prompt Engineering in Large Language Models: Techniques and Applications,” 5 Februari 2024, *arXiv*: arXiv:2402.07927. doi: 10.48550/arXiv.2402.07927.
- [14] P. Lewis dkk., “Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks,” 12 April 2021, *arXiv*: arXiv:2005.11401. doi: 10.48550/arXiv.2005.11401.
- [15] “ELISA: Real-Time Energy and Water Monitoring for Sustainable Campus Management – ITB SDGs Network.” Diakses: 11 Maret 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://sdgsc.itb.ac.id/elisa-real-time-energy-and-water-monitoring-for-sustainable-campus-management/>

- [16] M. A. Weisfeld, *The object-oriented thought process*, 4th ed. dalam Developer's library. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley, 2013.
- [17] S. Freeman, T. Mackinnon, N. Pryce, dan J. Walnes, "Mock roles, not objects," dalam *Companion to the 19th annual ACM SIGPLAN conference on Object-oriented programming systems, languages, and applications*, Vancouver BC CANADA: ACM, Okt 2004, hlm. 236–246. doi: 10.1145/1028664.1028765.
- [18] D. Spadini, M. Aniche, M. Bruntink, dan A. Bacchelli, "To Mock or Not to Mock? An Empirical Study on Mocking Practices," dalam *2017 IEEE/ACM 14th International Conference on Mining Software Repositories (MSR)*, Mei 2017, hlm. 402–412. doi: 10.1109/MSR.2017.61.
- [19] D. Astels, *Test-driven development: a practical guide*, 3. print. dalam The Coad series. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2003.
- [20] J. White dkk., "A Prompt Pattern Catalog to Enhance Prompt Engineering with ChatGPT," 21 Februari 2023, *arXiv*: arXiv:2302.11382. doi: 10.48550/arXiv.2302.11382.