

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan telah mengarah pada munculnya sistem generatif yang semakin canggih dalam menghasilkan konten. Teknologi *generative single-pass* baik itu text atau multimodal saat ini masih terbatas pada proses satu tahap yang sangat bergantung pada *prompt* pengguna [1], [2]. Sistem yang hanya mengandalkan *base generative model* cenderung tidak memiliki mekanisme eksplisit untuk perencanaan multi-langkah, penegakan batasan teknis secara konsisten, serta evaluasi otomatis terhadap hasil. Kemampuan tersebut dapat muncul secara implisit melalui prompting, namun bersifat tidak terstruktur dan kurang reliabel dibandingkan pendekatan *agentic* yang mengintegrasikan modul perencanaan, kontrol, dan evaluasi [3]. Model *generative single-pass* umumnya hanya memetakan deskripsi tekstual ke representasi visual tanpa memiliki mekanisme eksplisit yang dapat di akses dan di kontrol pada level sistem untuk memodelkan konteks penggunaan, tujuan spesifik, atau batasan semantik yang harus dipatuhi [4]. Keterbatasan ini menunjukkan adanya celah pada level arsitektur sistem, khususnya dalam hal integrasi penalaran, perencanaan, dan evaluasi terkoordinasi di dalam proses generasi representasi visual.

Ketiadaan lapisan penalaran kontekstual menyebabkan sistem generatif tidak mampu melakukan penyesuaian secara otonom dan terstruktur dalam satu siklus generasi tanpa intervensi eksternal [5] serta mengontrol tingkat kompleksitas atau segmentasi konten. Masalah ini berkaitan dengan belum adanya mekanisme yang memungkinkan sistem untuk melakukan *task decomposition* [6], termasuk pemecahan struktur konsep kompleks menjadi unit representasi yang lebih sederhana (*conceptual decomposition*) [7], mengkodekan batasan (*constraints*) berbasis konteks, serta menjalankan proses refleksi terhadap hasil generasi. Walaupun beberapa model *openweight* atau terbuka secara umum memiliki mekanisme *reasoning* dan *generating* yang baik, model generatif *single-pass* tidak menyertakan mekanisme evaluasi yang menyatu dalam *pipeline* generasinya,

kemampuan menilai dan memperbaiki hasil baru muncul ketika ditambahkan modul *self-evaluation/refleksi* eksplisit [2] dan belum memiliki struktur peran terpisah seperti perencana, generator, dan evaluator yang dapat bekerja secara kolaboratif dalam satu siklus generasi [8] Akibatnya, proses sintesis berlangsung secara linear tanpa kontrol adaptif, sehingga sulit menjamin kesesuaian hasil terhadap kriteria tertentu di luar deskripsi teks awal.

Keterbatasan arsitektural tersebut menjadi semakin nyata ketika sistem generatif diterapkan pada domain pendidikan. Dalam konteks ini, konten pembelajaran yang dihasilkan belum tentu efektif dan sesuai dengan kebutuhan serta tujuan belajar peserta didik [9], sementara proses generasinya masih rawan menghasilkan informasi yang keliru dan sulit diselaraskan dengan konteks pembelajaran [10]. Tanpa pengendalian beban kognitif yang eksplisit, kompleksitas representasi visual pun berpotensi melebihi kapasitas daya tangkap pembelajar. Permasalahan ini bukan semata-mata persoalan kualitas media edukasi, melainkan konsekuensi dari tidak adanya mekanisme komputasional yang mampu memodelkan konteks pedagogis sebagai bagian dari proses generasi, khususnya teori pedagogis. Teori pedagogis tersebut berupa *Dual Coding Theory* yang menyatakan bahwa penyampaian materi secara verbal dan non verbal dapat menambah pemahaman peserta didik [11] dan *Load Cognitive Theory* yang menyatakan bahwa materi atau media edukasi harus memiliki tingkat kognitif yang sesuai [12].

Permasalahan tersebut menunjukkan bahwa penerapan teori pedagogis dalam sistem generatif memerlukan mekanisme komputasional yang dapat menerjemahkan prinsip-prinsip tersebut menjadi batasan dalam proses generasi. Dalam implementasi komputasionalnya, pemenuhan *Load Cognitive Theory* menuntut sistem untuk mampu memfilter kompleksitas informasi, misalnya melalui pendekatan heuristik seperti Prinsip Pareto (80/20) [13] guna mengekstrak konsep inti keilmuan (*core knowledge*) agar tidak membebani memori kerja pembelajar. Selain itu, agar perpaduan visual dan teks pada *Dual Coding Theory* benar-benar merangsang nalar kritis, sistem memerlukan landasan penalaran seperti *First Principles Thinking* [14]. Pendekatan ini memastikan bahwa sistem memecah materi hingga ke fondasi logika paling dasar, sehingga AI tidak sekadar

memvisualisasikan rangkuman linier, melainkan mampu memodelkan alasan fundamental mengapa suatu konsep harus ada. Dengan kata lain, kegagalan kesesuaian konten media edukasi dalam pembelajaran mencerminkan kekurangan sistem generatif dalam merepresentasikan dan memproses informasi kontekstual sebagai batasan generatif. Meskipun berbagai pendekatan generatif dan *agentic* telah berkembang, hingga saat ini belum terdapat arsitektur generatif yang secara eksplisit mengintegrasikan mekanisme perencanaan, pemodelan konteks pedagogis sebagai batasan generatif, serta evaluasi reflektif terkoordinasi dalam satu siklus sistem untuk menghasilkan representasi visual edukatif.

Dalam pendidikan modern, kebutuhan terhadap sistem generatif yang adaptif dan kontekstual menjadi semakin penting. Tren penggunaan AI dalam domain pendidikan diperkirakan akan semakin tinggi tahun ke tahun [15], namun sistem generatif tunggal tidak mampu memodelkan lapisan tersebut tanpa mekanisme penalaran tambahan yang dapat mengenali konteks, menilai hasil, dan melakukan perbaikan otomatis [4]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan baru yang mampu mengelola proses generatif secara lebih terarah, reflektif, dan adaptif terhadap tujuan pedagogis. Dalam konteks inilah muncul potensi penerapan *multi-agent systems* pada domain generatif pendidikan. Setiap agen dalam sistem dapat memiliki peran spesifik, seperti *planning agent* yang merumuskan struktur, gaya representasi, dan tingkat kompleksitas berdasarkan konteks Pendidikan dan pembelajar, *generator agent* yang menjalankan proses generasi, dan *evaluator agent* yang menilai kesesuaian hasil dengan prinsip pedagogis tertentu.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan utama dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang arsitektur sistem generatif berbasis *agentic* yang mampu melakukan dekomposisi konseptual secara adaptif untuk diintegrasikan ke dalam satu siklus generasi representasi visual edukatif?
2. Bagaimana strategi orkestrasi multiagen dapat diterapkan untuk membagi peran perencanaan, generasi, dan evaluasi sehingga terbentuk siklus generasi yang adaptif dan terkontrol?

3. Bagaimana cara mengevaluasi efektivitas sistem dari sisi konsistensi dan kualitas generasi, keterlacakan konsep terhadap sumber referensi, dan adaptabilitas terhadap konteks pedagogis?

1.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan arsitektur *agentik* AI untuk generasi media pembelajaran yang memiliki adaptabilitas dan pemahaman kontekstual yang tinggi. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang arsitektur sistem generatif berbasis *agentik* yang mampu melakukan dekomposisi konseptual secara adaptif serta mengintegrasikan proses perencanaan, generasi, dan evaluasi dalam satu siklus generasi representasi visual edukatif.
2. Menerapkan strategi orkestrasi *multiagen* untuk membagi dan mengoordinasikan peran perencanaan, generasi, dan evaluasi guna membentuk proses generasi yang adaptif dan terkontrol.
3. Mengevaluasi efektivitas sistem berdasarkan aspek konsistensi dan kualitas generasi, keterlacakan konsep terhadap sumber referensi, serta adaptabilitas terhadap konteks pedagogis.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan terfokus, beberapa batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fokus penelitian berada pada perancangan arsitektur sistem *agentik* AI berbasis orkestrasi *multi-agent*, bukan pada pengembangan model generatif baru maupun modifikasi arsitektur dasar model generatif yang digunakan.
2. Penelitian ini berfokus pada *Proof of Concept* Arsitektur untuk memvalidasi kelayakan arsitektur yang diusulkan
3. Visual yang dibawa masih terbatas pada visual diagram ataupun *chart*.
4. Pengujian sistem dibatasi pada satu mata kuliah uji, yaitu Algoritma dan Struktur Data. Generalisabilitas terhadap mata kuliah di luar domain ilmu komputer tidak diklaim dalam penelitian ini.

5. Sistem memerlukan buku referensi teks terstruktur sebagai sumber input tambahan selain deskripsi mata kuliah. Penelitian tidak mencakup skenario di mana referensi tidak tersedia atau tersedia dalam format yang tidak terstruktur.
6. Model generatif yang digunakan diperlakukan sebagai komponen siap pakai, sehingga penelitian tidak mencakup proses pelatihan ulang (*training*), *fine-tuning*, atau optimasi performa inferensi model.
7. Kontribusi utama penelitian berada pada mekanisme komputasional, meliputi, perencanaan tugas (*task planning*), pembagian peran *agent*, koordinasi antar *agent*, serta evaluasi hasil generasi secara reflektif.
8. Konteks pedagogis digunakan sebagai domain uji, dengan pembatasan pada prinsip dasar pembelajaran visual, khususnya *Dual Coding Theory* dan *Cognitive Load Theory* yang di implementasikan dengan Teknik Pareto dan *First principles thinking* dan dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan kriteria evaluasi untuk *agent*, bukan kajian mendalam dalam Pendidikan.
9. Evaluasi sistem dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif sederhana, dengan fokus pada:
 - Kualitas dekomposisi konsep
 - Kompleksitas dan ruang lingkup materi
 - Kesesuaian visual

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat pada dua dimensi, yaitu manfaat teoritis yang memperkaya khazanah ilmiah dan manfaat praktis yang dapat dirasakan oleh berbagai pihak secara langsung.

1.5.1. Manfaat Teoritis

- 1) Memberikan kontribusi metodologis berupa adaptasi kerangka AOSE Prometheus untuk sistem multiagen berbasis LLM, yang dapat menjadi referensi bagi penelitian lain yang merancang sistem *agent* dengan metodologi formal.

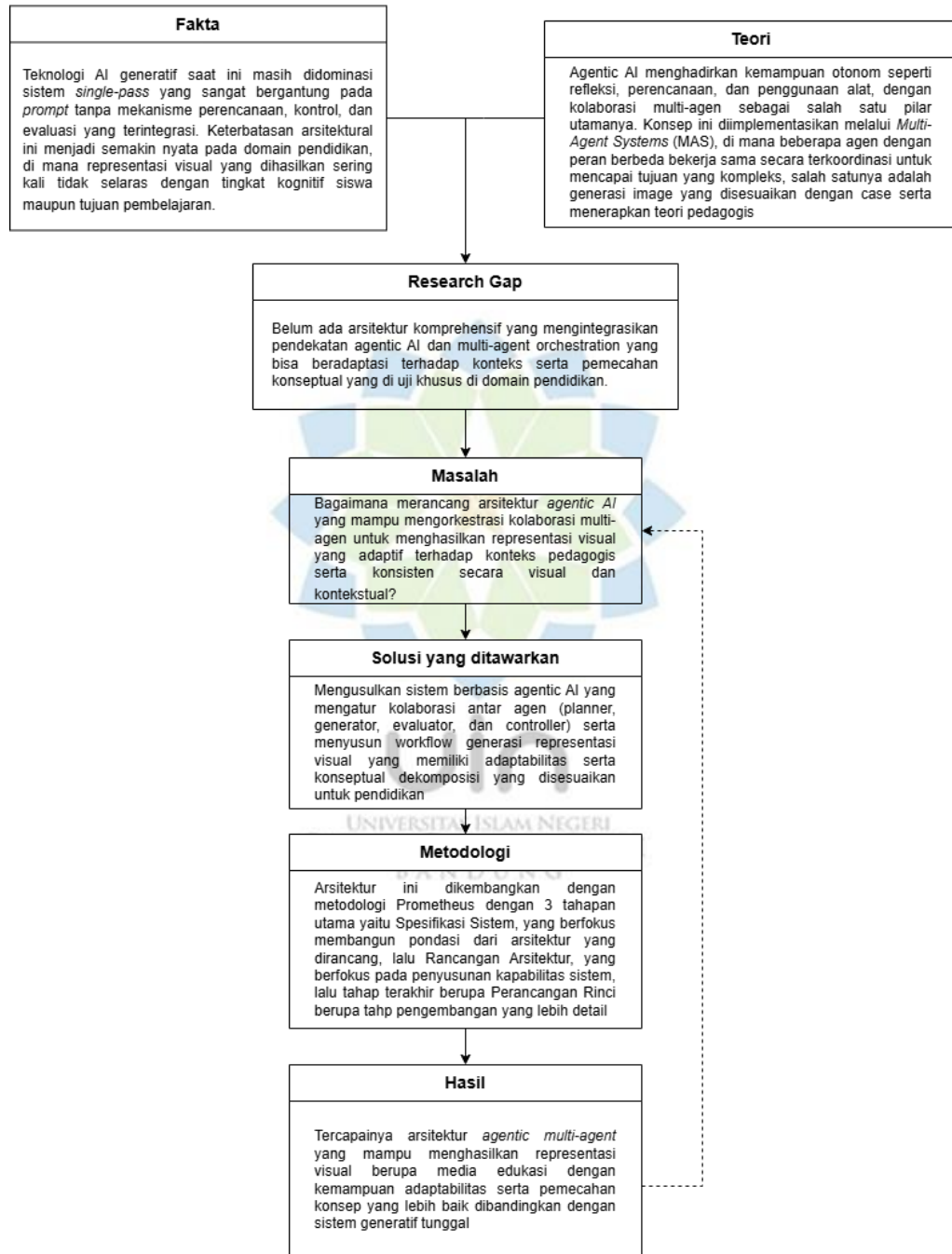
- 2) Menunjukkan penerapan studi ablati arsitektur sebagai pendekatan evaluasi sistematis dalam sistem multiagen LLM, sehingga kontribusi keputusan desain arsitektur dapat diukur secara terpisah dari kapasitas model.
- 3) Menambah literatur evaluasi sistem generasi media pembelajaran otomatis melalui pendekatan multi-lapis yang menggabungkan validasi ahli, metrik teknis otomatis, dan perbandingan berbasis ablati.

1.5.2. Manfaat Praktis

- 1) Bagi dosen, sistem dapat mempercepat pembuatan media pembelajaran visual yang terstruktur dari deskripsi mata kuliah tanpa membutuhkan keahlian teknis khusus.
- 2) Bagi mahasiswa, media yang dihasilkan, mencakup penjelasan bertingkat, diagram visual, dan *glossary*, dapat mendukung belajar mandiri pada mata kuliah dengan kompleksitas konsep tinggi.
- 3) Bagi pengembang dan peneliti AI, arsitektur STUD Flow beserta keputusan desainnya dapat dijadikan referensi untuk pengembangan sistem multiagen LLM di domain lain.
- 4) Bagi institusi pendidikan, penelitian ini memberikan bukti konsep bahwa otomatisasi pembuatan materi ajar berbasis AI generatif dapat dilakukan dengan mekanisme kontrol kualitas yang terstruktur dan dapat dipertanggungjawabkan secara pedagogis.

1.6. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir penelitian ini dirancang untuk memetakan alur logis penelitian secara sistematis, mulai dari identifikasi konteks yang lebih luas hingga luaran spesifik yang diharapkan, sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 1.1.



Alur kerangka berpikir penelitian ini berangkat dari keresahan terhadap keterbatasan teknologi AI generatif saat ini yang mayoritas masih bersifat *single-pass*, di mana prosesnya sangat bergantung pada *prompt* pengguna tanpa

mekanisme internal untuk perencanaan, kontrol, maupun evaluasi yang terintegrasi. Masalah arsitektural ini menjadi semakin nyata ketika diterapkan dalam domain pendidikan, karena media pembelajaran yang dihasilkan sering kali tidak selaras dengan tingkat kognitif peserta didik atau tujuan pembelajaran yang spesifik. Sebagai landasan teoretis, penelitian ini mengangkat konsep *Agentic AI* melalui *Multi-Agent Systems* (MAS) yang menawarkan kemampuan otonom bagi sistem untuk melakukan refleksi dan perencanaan melalui kolaborasi antar-agen, namun literatur belum memberi kejelasan mengenai derajat granularitas peran yang optimal antar-agen tersebut.

Berangkat dari celah itu, penelitian ini merumuskan masalah bagaimana merancang sekaligus mengevaluasi arsitektur *agentic AI* berbasis *multi-agent* yang mengorkestrasi proses dekomposisi konsep, perencanaan struktur, dan generasi konten pembelajaran, sambil menentukan derajat granularitas agen yang paling tepat. Sebagai solusi, diusulkan sistem yang membagi peran ke dalam *crew* dekomposisi konsep, perencanaan struktur *slide* dengan audit pedagogis, dan generasi konten, lalu diuji melalui studi ablasi terhadap tiga varian granularitas: satu agen *omnibus*, tiga agen per fase, dan delapan agen per tugas.

Arsitektur ini dikembangkan dengan metodologi *Prometheus* melalui tiga tahapan: spesifikasi sistem, rancangan arsitektur, dan perancangan rinci. Hasil akhir penelitian menunjukkan bahwa arsitektur tiga agen per fase terbukti paling unggul dibanding kedua varian ekstrem maupun *baseline single-pass* model Tunggal, bukan karena jumlah agennya, melainkan karena granularitas perannya berada pada titik optimal. Temuan ini menjadi kontribusi konseptual bahwa dalam merancang sistem *agentic AI multi-agent*, derajat spesialisasi agen adalah parameter desain yang harus diuji secara empiris, bukan diasumsikan, semakin banyak agen, semakin baik.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan memuat sistematika penulisan laporan tugas akhir dengan memberikan gambaran kandungan setiap bab, urutan penulisan, serta keterkaitan antara satu bab dengan bab lainnya dalam sebuah laporan tugas akhir. Berikut sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, kerangka pemikiran, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas literatur atau penelitian terdahulu, konsep dan teori, konsep pedagogis, kerangka kerja yang digunakan, dan rumus terkait yang menjadi landasan dalam proses analisis permasalahan dan kebutuhan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan langkah-langkah dan teknik yang diterapkan dalam penelitian, diuraikan secara sistematis dan terstruktur.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan dua hal utama, yaitu temuan atau hasil penelitian berdasarkan langkah-langkah penelitian yang telah dilakukan, dan pembahasan hasil atau temuan penelitian sebagai jawaban terhadap rumusan masalah penelitian.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berfokus pada penarikan simpulan dari hasil penelitian yang diperoleh serta menjawab pertanyaan penelitian, serta memberikan saran yang dapat dilakukan penelitian selanjutnya untuk meningkatkan kualitas penelitian.