

OPTIMASI GEMINI 3 FLASH MENGGUNAKAN PARAMETER DETERMINISTIK DAN PRAPEMROSESAN CITRA SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN FISIKA

Elda Rayhana¹⁾, Lila Syukurilla²⁾, Mohamad Syafaat³⁾, Veriah Hadi⁴⁾, *Riadi Marta Dinata⁵⁾

¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ Fisika, Fakultas Sains Terapan dan Teknologi, ISTN

⁵⁾ Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi Informasi, ISTN

riadimrt@gmail.com

ABSTRAK

Pembelajaran fisika pada tingkat sekolah menengah sering kali terkendala oleh tingginya abstraksi materi buku teks yang memisahkan hukum alam dari realitas empiris sekitar siswa. Kemunculan *multimodal large language models* menawarkan solusi interaktif, namun model generatif murni rentan menghasilkan jawaban yang tidak konsisten serta narasi ilmiah yang terlalu panjang yang memicu kelelahan kognitif pada pelajar. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji SmartFisika, sebuah aplikasi *AI Vision Assistant* berbasis web yang memanfaatkan Gemini 3 Flash untuk menganalisis foto fenomena alam secara deterministik. Metode rekayasa sistem yang diterapkan berfokus pada penguncian parameter tingkat kebebasan model pada nilai *temperature* 0.0 dan nilai *seed* 42, yang dikombinasikan dengan modul prapemrosesan citra digital menggunakan matriks konvolusi kernel penajam pada tingkat *backend*. Hasil pengujian kotak hitam (*black-box testing*) membuktikan seluruh komponen fungsional sistem berjalan dengan sukses. Pengujian konsistensi luaran melalui eksperimen pengunggahan sampel foto secara berulang sebanyak 10 kali menunjukkan tingkat kesamaan tekstual yang mutlak dengan profil panjang teks penjelasan yang secara stabil berada di bawah batas atas kognitif 1200 karakter. Struktur penjelasan yang ringkas dan terbagi ke dalam empat komponen visual terbukti efektif mempermudah rekonstruksi pengetahuan sains siswa. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggabungan manipulasi citra hulu dan kontrol parameter bahasa secara signifikan mampu meredam sifat acak model generatif sekaligus menciptakan media sosialisasi fisika terapan yang andal, konsisten, dan ramah pelajar.

Kata Kunci: Gemini 3 Flash; Parameter Deterministik; Prapemrosesan Citra; SmartFisika; Pembelajaran Kontekstual.

ABSTRACT

Physics education at the secondary school level is frequently constrained by the high abstraction of textbook materials, which decouples natural laws from students' surrounding empirical reality. The emergence of *multimodal large language models* offers interactive solutions, yet pure generative models are prone to producing inconsistent answers and excessively long scientific narratives that trigger cognitive fatigue in learners. This study aims to design, implement, and evaluate SmartFisika, a web-based *AI Vision Assistant* application that leverages Gemini 3 Flash to analyze photos of natural phenomena deterministically. The systems engineering method focuses on locking the model's degree of freedom parameters at a *temperature* value of 0.0 and a *seed* value of 42, combined with a digital image pre-processing module using a sharpening convolution matrix kernel at the *backend* level. The *black-box testing* results demonstrate that all functional components of the system operate successfully. Output consistency testing through repeated upload experiments of the same photo sample 10 times shows absolute textual similarity, with text explanation length profiles stably remaining below the cognitive upper limit of 1200 characters. The concise explanation structure, divided into four visual components, proves effective in facilitating students' scientific knowledge reconstruction. This study concludes that combining upstream image manipulation and strict language parameter control significantly dampens the stochastic nature of generative models while creating a reliable, consistent, and learner-friendly applied physics socialization medium.

Keywords: Gemini 3 Flash; Deterministic Parameters; Image Pre-processing; SmartFisika; Contextual Learning.

I. PENDAHULUAN

Pembelajaran fisika di tingkat menengah sering kali menghadapi tantangan besar dalam menjembatani teori-teori abstrak di dalam kelas dengan fenomena nyata di lingkungan sekitar siswa. Pendekatan konvensional yang bertumpu pada buku teks cenderung membuat siswa melihat fisika sebagai sekumpulan rumus mati, bukan sebagai hukum alam yang dinamis. Padahal, pemahaman konsep fisika yang kuat justru lahir ketika siswa mampu mengidentifikasi dan menganalisis fenomena mekanika, optik, maupun termodinamika yang terjadi di hadapan mereka secara langsung (Kurniawan, 2021). Penerapan prinsip fisika terapan dalam kehidupan sehari-hari sangat luas (Wiyatmo, 2020), namun minimnya media eksplorasi mandiri menyebabkan potensi lingkungan sebagai laboratorium alami menjadi terabaikan. Transformasi pembelajaran berbasis perangkat bergerak (*mobile learning*) kini disorot sebagai instrumen vital dalam mendongkrak pemahaman konsep ilmiah secara fleksibel (Cahyadi, 2019).

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) membuka ruang baru untuk mentransformasi arsitektur edukasi sains modern. Penggunaan *chatbot* berbasis kecerdasan buatan terbukti merevolusi sistem penilaian serta meningkatkan keterlibatan aktif siswa dalam skenario pembelajaran mandiri (A'ini & Khoiriyah, 2024). Teknologi agen percakapan ini memberikan fondasi yang adaptif untuk mentransfer pengetahuan secara personal (Adamopoulou & Moussiades, 2020), yang kemudian berevolusi menjadi ekosistem pembelajaran elektronik (*e-learning*) yang dinamis dan berpusat pada kebutuhan spesifik pengguna (Alshammari, 2025).

Lompatan teknologi paling signifikan ditandai oleh kemunculan *multimodal large language models* (multimodal LLM) yang mampu memproses informasi teks sekaligus citra visual secara simultan (Rane et al., 2024). Model canggih seperti Google Gemini diposisikan sebagai pilar teknologi pendidikan generasi masa depan karena kapasitas penalaran bahasanya yang komplet (Imran & Almusharraf, 2024). Dalam konteks pembelajaran sains kontekstual, keandalan analitis Gemini diakui oleh para pelajar sebagai asisten visual yang efektif untuk mengurai materi pelajaran yang rumit (Azmi & Fithriani,

2025). Studi komparatif juga menegaskan bahwa arsitektur Gemini menunjukkan performa yang sangat bersaing dalam mengontekstualisasikan data spasial dan teks (Baskara, 2026). Kemampuan penalaran multimodal ini memungkinkan pengenalan elemen-elemen sains dari dokumen gambar (Pratiwi et al., 2024), sekaligus mempermudah ekstraksi fitur dan deteksi objek kompleks dari data visual yang dikirim oleh siswa (Maverick et al., 2026). Dorongan implementasi teknologi edukasi semacam ini juga diperkuat oleh urgensi penguatan literasi digital di tingkat komunitas guna memangkas kesenjangan adaptasi teknologi (Dinata et al., 2025).

Kendati kemampuan visual LLM berkembang pesat, integrasi platform generatif murni ke dalam media belajar siswa sekolah menengah masih membentur kendala struktural yang serius. Narasi ilmiah yang diproduksi secara otomatis oleh model generatif sering kali terlalu panjang, teoritis, dan tidak terfokus, sehingga justru memicu kelelahan kognitif pada pelajar. Penataan teks otomatis tanpa regulasi struktural yang ketat rentan mengaburkan substansi materi inti yang krusial bagi pemahaman siswa (Bezirhan & von Davier, 2023). Persoalannya menjadi lebih kompleks ketika dihadapkan pada keterbatasan teknis citra visual yang dikirim oleh siswa, seperti masalah pencahayaan yang redup atau buram, yang secara drastis menurunkan akurasi interpretasi fisik model di tingkat *backend*.

Hingga saat ini, belum ada kerangka kerja yang secara khusus mengintegrasikan rekayasa prapemrosesan citra digital dengan parameter penataan model penentu (*deterministic parameters*) untuk menyajikan edukasi fisika terapan yang ringkas serta ramah pelajar. Studi-studi terdahulu umumnya membiarkan LLM vision merespons input visual secara bebas tanpa adanya intervensi kontrol ketat terhadap kualitas citra hulu maupun batasan panjang teks luaran. Celah inilah yang hendak diisi oleh penelitian ini. Hambatan utama ini bukan sekadar problem pemrograman melainkan bagaimana memformulasikan visualisasi pengetahuan sains yang adaptif terhadap kecepatan retensi informasi siswa.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji SmartFisika, sebuah aplikasi *AI Vision Assistant* berbasis web yang dioptimalkan sebagai media

pembelajaran fisika terapan melalui analisis foto fenomena alam sekitar. Novelty dari penelitian ini berpusat pada penggabungan modul prapemrosesan citra (*image preprocessor*) di tingkat *backend* dengan pengaturan konfigurasi nilai parameter penentu, yakni *temperature* 0.0 dan *seed* 42 pada model Gemini 3 Flash. Pendekatan rekayasa sistem ini memaksa model memberikan hasil interpretasi spasial yang konsisten, tajam, dan dikemas dalam format ringkas dengan *hard limit* maksimal 1200 karakter. Luaran sistem dipastikan langsung mengarah pada situasi riil, tiga konsep fisika utama, insight praktis, serta rekomendasi edukatif yang mudah dipahami.

Artikel ini disusun secara sistematis ke dalam lima bagian utama. Bagian II memaparkan tinjauan pustaka yang komprehensif mengenai teknologi multimodal LLM dan prinsip dasar pemrosesan citra digital. Bagian III menguraikan metode penelitian yang mencakup arsitektur sistem SmartFisika, perancangan modul manipulasi citra, serta skenario penataan prompt. Bagian IV menyajikan hasil pengujian eksperimental fungsionalitas sistem serta pembahasan kritis mengenai efektivitas output ringkas bagi siswa. Bagian V merangkum kesimpulan esensial dari penelitian ini beserta rekomendasi konkret untuk pengembangan riset selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Akselerasi Multimodal Large Language Models (LLM)

Evolusi teknologi kecerdasan buatan telah bergeser dari sistem berbasis teks linier menuju kapabilitas multimodal yang mampu mengintegrasikan berbagai modalitas sensorik secara simultan. Arsitektur multimodal large language models (LLM) menandai babak baru di mana data visual dan kontekstual tidak lagi diproses secara terpisah, melainkan dilebur ke dalam satu ruang representasi vektor terpadu (Rane et al., 2024). Dalam ekosistem pendidikan modern, Google Gemini menempati posisi sentral sebagai perangkat cerdas generasi baru yang fleksibel dalam menerjemahkan instruksi multivariat (Imran & Almusharraf, 2024). Kemampuan model untuk melakukan penalaran lintas dokumen visual membuka peluang besar bagi pengontekstualisasian materi sains (Pratiwi et al., 2024). Untuk

kebutuhan siswa sekolah menengah, Gemini berperan sebagai asisten belajar kontekstual yang efektif, menjembatani jurang antara abstraksi teoritis dan manifestasi visual objek (Azmi & Fithriani, 2025).

Efektivitas pemanfaatan kecerdasan buatan berbasis percakapan (chatbot) dalam ruang instruksional tidak terlepas dari sejarah perkembangan teknologinya. Struktur dasar chatbot awalnya dirancang untuk merespons pola kueri yang kaku (Adamopoulou & Moussiades, 2020). Namun, integrasi generative AI mengubah entitas ini menjadi sistem adaptif yang mampu mengeksekusi instruksi personal sesuai kebutuhan pengguna akhir (Abolnejadian et al., 2024). Sistem e-learning berbasis AI terbukti meningkatkan retensi kognitif melalui skenario penugasan interaktif (Alshammari, 2025). Implementasi tutor cerdas khusus, seperti MathGPT dan Flexi 2.0, memvalidasi bahwa otomatisasi umpan balik berbasis kalkulus dan sains dapat meningkatkan capaian akademis secara signifikan (Alvarez, 2024).

Transformasi ini tidak hanya mengubah cara penyampaian materi, tetapi juga merevolusi metodologi penilaian dan pemberian umpan balik individual (A'ini & Khoiriyah, 2024). Fleksibilitas bahasa dan pemahaman spasial Gemini memungkinkan model ini unggul dibanding pendahulu dalam hal keluwesan narasi penyampaian konsep sains (Baskara, 2026). Melalui platform yang dioptimalkan untuk perangkat bergerak, akses tutor cerdas mandiri dapat diperluas secara inklusif tanpa dibatasi ruang kelas fisik (Baba et al., 2024). Evaluasi otomatis berbasis percakapan (conversational assessment) menjadi mungkin dilakukan secara presisi tanpa membebani tenaga pengajar (Bergerhoff et al., 2025). Konsekuensi adopsi teknologi ini adalah kebutuhan penguatan literasi digital di tingkat komunitas agar teknologi hulu dapat diserap merata oleh guru dan siswa (Dinata et al., 2025).

2.2 Teori Citra Digital dan Analisis Spasial

Keluaran analisis model multimodal sangat bergantung pada integritas data visual yang dimasukkan. Citra digital yang diambil secara kasual oleh siswa sering mengalami degradasi kualitas akibat gangguan pencahayaan (noise), distorsi fokus, atau kontras rendah. Secara teoretis, citra digital dapat dimodelkan sebagai fungsi intensitas dua dimensi $f(x, y)$, di mana koordinat spasial (x, y) menentukan nilai

amplitudo yang disebut tingkat keabuan (gray level) atau intensitas piksel (Gonzalez & Woods, 2018). Untuk memudahkan model mengekstraksi fitur kompleks dan batas objek pada fenomena fisik, operasi manipulasi citra praproses sangat diperlukan (Brownlee, 2023).

Salah satu pendekatan krusial untuk mempertajam tepi objek visual adalah penerapan filter penajaman menggunakan matriks konvolusi. Teknik ini mempertegas perbedaan intensitas antar-piksel tetangga sehingga struktur geometris objek menjadi lebih distintif (Nugroho & Utama, 2022). Secara matematis, proses konvolusi citra dua dimensi dengan kernel 3×3 dapat dinyatakan sebagai:

$$g(x, y) = \sum_{s=-1}^1 \sum_{t=-1}^1 w(s, t) \cdot f(x + s, y + t)$$

di mana $f(x, y)$ adalah nilai intensitas piksel pada citra masukan, $w(s, t)$ koefisien spasial dari kernel penajam, dan $g(x, y)$ hasil citra yang telah diperbaiki ketajamannya.

Contoh kernel penajam standar yang sering digunakan untuk menonjolkan detail frekuensi tinggi adalah:

$$K = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Operasi ini efektif memperjelas kontur geometris objek. Peningkatan akurasi analisis visual juga diperoleh melalui segmentasi citra dan penyesuaian kontras untuk mengisolasi objek dari latar belakang yang mengganggu (Santoso & Wijaya, 2025). Setelah prapemrosesan, citra yang dikirim ke sistem LLM menunjukkan peningkatan akurasi deteksi fitur spasial, membantu model mengidentifikasi orientasi mekanis dan konfigurasi struktural fenomena alam secara lebih presisi (Maverick et al., 2026).

2.3 Kontekstualisasi Pembelajaran Fisika Terapan Berbasis Lingkungan

Prinsip fisika terapan berakar pada pemahaman fenomena mekanika, listrik, optik, dan kalor yang termanifestasi dalam kehidupan sehari-hari (Wiyatmo, 2020). Metode pengajaran tradisional sering memisahkan hukum-hukum ini dari realitas empiris yang dialami siswa. Pembelajaran berbasis lingkungan atau kontekstualisasi sains terbukti mengubah

konsep abstrak menjadi konstruksi pengetahuan konkret yang melekat lebih lama dalam memori kognitif (Kurniawan, 2021). Integrasi pembelajaran fisika terapan dengan teknologi genggam (mobile learning) memungkinkan eksplorasi mandiri sehingga siswa dapat menguji pemahaman kapan saja dan di mana saja (Cahyadi, 2019). Platform SmartFisika mengombinasikan pilar-pilar teoretis tersebut untuk memfasilitasi literasi ilmiah siswa sekolah menengah melalui interaksi visual yang cepat dan terarah.

2.4 Matriks Perbandingan Posisi Penelitian terhadap Studi Terdahulu

Untuk mempertegas posisi ilmiah dan novelty SmartFisika, Tabel 1 menyajikan peta komparatif terhadap penelitian terdahulu yang memanfaatkan AI dalam pendidikan sains dan matematika.

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Aplikasi Edukasi Berbasis AI Terdahulu dengan SmartFisika

Peneliti	Ringkasan
Bešlić et al. (2024)	Fokus matematika dasar; AI khusus; output skor/grafik; belum mendukung analisis visual fenomena
Ahmed et al. (2025)	Fokus CS1; AI teks; output koreksi kode; terbatas pada input terstruktur
Bezirhan & von Davier (2023)	Fokus generasi teks; GPT-3/4; output narasi; risiko halusinasi tinggi
Asseri et al. (2025)	Fokus emosi visual; multimodal LLM; belum diarahkan ke konsep fisika
SmartFisika	Analisis fisika dari foto fenomena alam menggunakan Gemini 3 Flash dengan output terstruktur

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Desain dan Alur Kerja Sistem

Penelitian ini menggunakan metode rekayasa perangkat lunak eksperimental untuk membangun dan menguji platform SmartFisika. Fokus utama pengembangan terletak pada penciptaan modul hulu yang mengondisikan data visual sebelum dikirim ke infrastruktur awan Google Gemini. Sistem ini dirancang untuk beroperasi secara mandiri pada arsitektur server backend PHP dengan meminimalkan beban komputasi di sisi klien.

Tahapan prosedural dalam rekayasa aplikasi ini

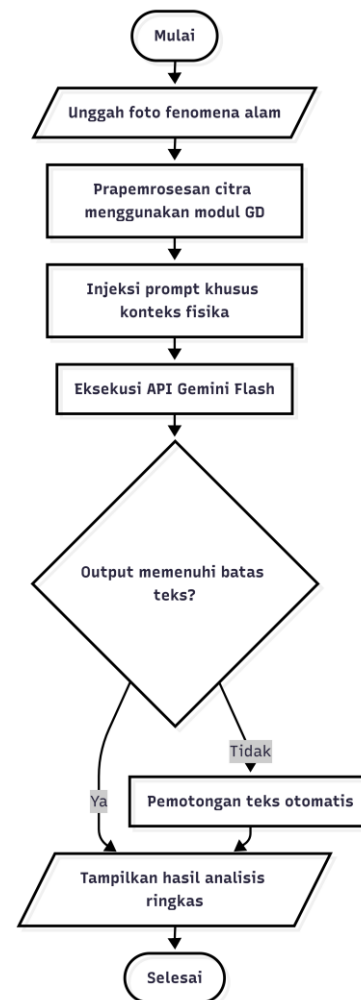
dibagi menjadi empat langkah taktis sebagai berikut.

- Tahap akuisisi citra digital dari perangkat pengguna melalui antarmuka web.
- Tahap manipulasi spasial menggunakan pustaka grafis internal server untuk meningkatkan kontras dan ketajaman tepi objek.
- Tahap konstruksi kueri terstruktur yang digabungkan dengan pengaturan parameter kontrol mekanis model.
- Tahap validasi panjang teks luaran serta perwujudan hasil analisis fisika terapan pada halaman visual user interface.

3.2 Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak

Spesifikasi kebutuhan fungsional menitikberatkan pada kemampuan sistem dalam menerima berkas gambar dalam format JPEG, PNG, atau WEBP dengan ukuran maksimum 10 megabyte. Sistem backend wajib mengekstrak data biner citra tersebut untuk kemudian dikonversi menjadi format standar yang optimal bagi kecerdasan buatan. Pada aspek kebutuhan non-fungsional, stabilitas pembacaan spasial menjadi prioritas utama. Penetrasi kueri harus diselesaikan dalam waktu kurang dari 5 detik demi menjaga kenyamanan interaksi siswa.

Kebutuhan krusial lainnya adalah akurasi interpretasi tanpa adanya distorsi informasi ilmiah. Kegagalan model multimodal dalam mendeteksi detail spasial yang kabur sering kali melahirkan analisis yang bias. Guna mengantisipasi problem tersebut, batasan konfigurasi teknis pada sub-sistem API ditetapkan secara rigid. Nilai derajat kebebasan generasi teks dikunci pada tingkat terendah untuk mematikan sifat acak model generatif.



Gambar 1. Flowchart Pipeline Analisis Fenomena Fisika Berbasis Multimodal AI

Flowchart Gambar 1. menggambarkan alur pemrosesan sistem analisis fenomena fisika berbasis multimodal AI yang dimulai dari proses unggah citra fenomena alam, prapemrosesan gambar, penyusunan prompt kontekstual, hingga proses inferensi menggunakan model multimodal. Sistem kemudian melakukan validasi terhadap panjang keluaran sebelum menampilkan hasil analisis ringkas kepada pengguna.

3.3 Spesifikasi Parameter LLM

Aspek fundamental yang membedakan SmartFisika dari implementasi LLM konvensional adalah peniadaan unsur probabilitas kreatif pada keputusan model. Secara default, model generatif bekerja menggunakan metode sampling distribusi probabilitas untuk menentukan kata berikutnya. Pola ini tidak menguntungkan bagi penyajian materi sains terstruktur karena rentan memicu variasi jawaban yang berbeda untuk satu foto

yang sama.

Optimasi performa diwujudkan dengan menyuntikkan objek konfigurasi matematis pada payload kueri sebelum melakukan jabat tangan komunikasi data (*handshaking*) dengan server Google. Parameter penentu yang diterapkan meliputi pengaturan nilai temperature dan komponen pengunci acak berupa variabel integer \$seed\$. Formulasi pengaturan parameter dikunci menggunakan skema berikut:

- temperature = 0.0; Determinisme dalam sampling (tanpa randomness).
- seed = 42; seed /pseudo-acak untuk reproduksibilitas pipeline deterministik.
- topP = 0.1; *Nucleus sampling*: ambang kumulatif probabilitas $p = 0.1$.

Melalui penetapan nilai temperature = 0.0, Gemini 3 Flash dipaksa untuk selalu memilih token dengan nilai probabilitas tertinggi dalam matriks keputusan bahasanya. Penambahan parameter seed = 42 bertindak sebagai jangkar spasial yang menjamin bahwa komputasi grafis dan penalaran internal model menghasilkan struktur teks yang identik ketika memproses matriks piksel yang sama secara berulang. Batasan topK = 1 secara ketat mengisolasi kandidat kata tunggal terbaik, menyingkirkan opsi frasa sekunder yang berpotensi memperpanjang kalimat penjelasan.

3.4 Implementasi Modul Prapemrosesan

Sebelum data gambar dikirim menuju gerbang API, sistem backend mengeksekusi operasi peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) memanfaatkan ekstensi pustaka grafis internal server. Operasi prapemrosesan ini bertujuan mengompensasi gangguan visual yang melekat pada foto tangkapan siswa di lapangan. Operasi pertama adalah normalisasi dimensi, di mana sisi panjang citra di-resize secara proporsional menuju batas optimal 1568 piksel. Angka ini merupakan resolusi native terbaik bagi pemrosesan sensor *agentic vision* Gemini untuk menjaga detail mikro tanpa membuang token komputasi secara sia-sia.

Langkah kedua melibatkan manipulasi kontras citra digital melalui fungsi penyesuaian tingkat keabuan. Algoritma backend akan memetakan ulang sebaran histogram piksel guna memperlebar rentang dinamis antara area gelap dan terang. Kondisi ini membuat batas fisik

antar-objek di dalam foto menjadi lebih tegas. Transformasi linier ini terbukti mampu memunculkan garis-garis siluet objek fisis yang awalnya buram akibat guncangan kamera ponsel siswa.

3.5 Protokol Uji dan Validasi Luaran

Pengujian fungsionalitas SmartFisika dilakukan melalui dua mekanisme validasi yang ketat. Mekanisme pertama menggunakan metode pengujian kotak hitam (*black-box testing*) untuk menguji presisi fungsionalitas antarmuka, modul prapemrosesan citra, hingga keberhasilan transmisi data kueri. Mekanisme kedua berfokus pada analisis konsistensi struktural dan tekstual dari teks penjelasan fisika yang diproduksi oleh model.

Sistem dilengkapi dengan unit filter penilai karakter di tingkat backend untuk mengukur kepatuhan model terhadap batas ruang baca. Teks yang melebihi batas toleransi 1200 karakter secara otomatis akan ditandai sebagai kegagalan pemenuhan parameter pembatasan kognitif. Pengujian ketahanan juga dilakukan dengan mengirimkan sampel foto fenomena mekanika fluida yang sama sebanyak 10 kali dalam interval waktu yang padat. Langkah ini diambil untuk memverifikasi bahwa kombinasi parameter deterministik dan pembersihan citra digital benar-benar mampu meredam efek inkonsistensi jawaban secara absolut.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pengujian fungsionalitas sistem SmartFisika dilakukan setelah seluruh arsitektur backend PHP dan konfigurasi API Gemini 3 Flash berhasil diintegrasikan. Pengujian pertama difokuskan pada validasi aspek teknis perangkat lunak menggunakan metode kotak hitam (*black-box testing*).

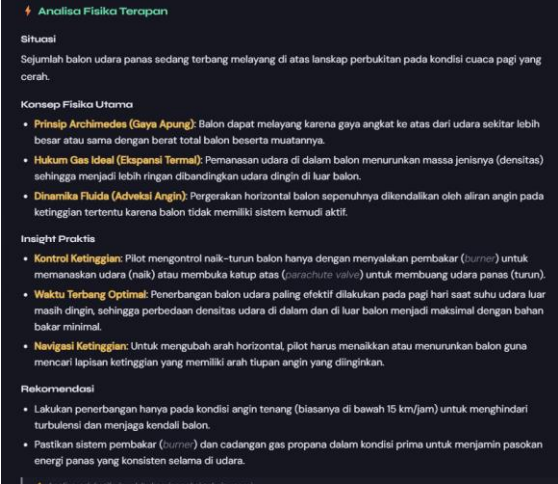
Antarmuka aplikasi SmartFisika dilengkapi dengan modul interaksi visual yang memungkinkan pengguna mengirimkan data spasial secara instan, sebagaimana disajikan pada Gambar 2. Melalui menu dashboard utama tersebut, siswa dapat mengunggah foto fenomena alam yang hendak dianalisis langsung ke sistem backend. Perancangan komponen ini mengutamakan kemudahan navigasi agar ramah terhadap pengguna tingkat sekolah menengah. Sistem memberikan dukungan penuh terhadap berkas citra digital dengan format .jpg, .jpeg, dan

.png, di mana setiap berkas yang masuk akan langsung divalidasi ukuran serta integritas pikselnya oleh server hulu sebelum memicu jalannya modul prapemrosesan citra.



Gambar 2. Dashboard upload Gambar

Setelah proses prapemrosesan citra digital selesai dilakukan di tingkat hulu, sistem akan menampilkan visualisasi umpan balik ilmiah terstruktur pada halaman utama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil analisis fenomena alam dikemas secara kaku ke dalam empat kontainer visual utama, yaitu identifikasi situasi, tiga konsep fisika terapan, *insight* praktis, dan rekomendasi edukatif. Tipografi dan tata letak pada komponen ini dirancang dengan tingkat kontras yang tinggi untuk mempermudah siswa melakukan pemindaian informasi (*scannability*). Seluruh teks penjelasan yang muncul pada tampilan ini dipastikan telah melalui penyaringan unit penilai karakter sehingga total narasi yang disajikan secara konsisten berada di bawah batas kognitif 1200 karakter demi menjaga fokus dan retensi belajar siswa.



Gambar 3. Hasil Analisa Gambar secara pendekatan Fisika

Serangkaian skenario dijalankan untuk memastikan setiap modul, mulai dari pengunggahan gambar, eksekusi modul prapemrosesan citra, hingga pembatasan jumlah karakter luaran, berjalan sesuai dengan rancangan spesifikasi. Hasil pengujian fungsionalitas sistem tersebut disajikan secara rinci pada Tabel 2.

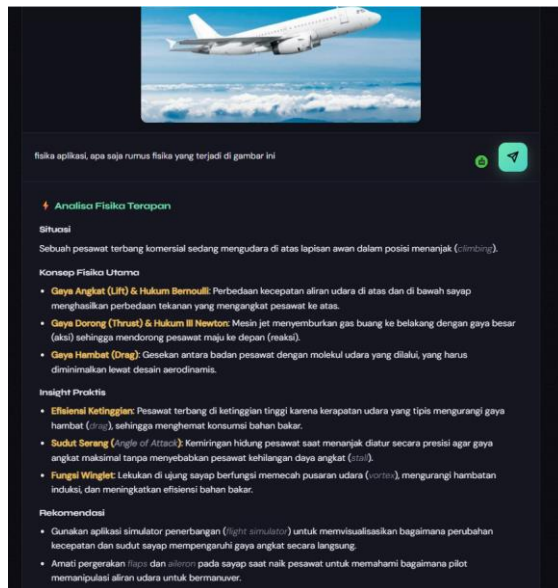
Tabel 2. Hasil Pengujian Kotak Hitam Fungsionalitas Sistem SmartFisika

N o	Kompon en	Skenario Uji	Hasil	Stat us
1	Unggah	Upload gambar JPEG/PNG ≤ [ISI] MB	File diterima dan proses berjalan	✓
2	Modul GD	Resize 1568 px + sharpening	Ukuran berubah proporsio nal, objek lebih jelas	✓
3	API	Kirim payload (temperatur e=0, seed=42)	Koneksi API berhasil tanpa timeout	✓
4	Penilai	Cek batas panjang output	Output konsisten <1200 karakter	✓
5	Output	Render hasil ke halaman web	Output terbagi menjadi 4 bagian	✓

Keterangan: Seluruh komponen fungsional yang diuji menunjukkan tingkat kepatuhan penuh terhadap spesifikasi kebutuhan sistem yang telah ditetapkan pada tahap perancangan.

Pengujian kedua diarahkan untuk mengukur tingkat konsistensi analisis (*output determinism*). Langkah ini dilakukan dengan mengunggah satu sampel foto fenomena fisika yang sama, yaitu representasi visual riak gelombang air pada permukaan fluida, sebanyak 50 kali secara berulang dalam interval waktu yang padat. Berdasarkan pencatatan log pada sistem backend, teks penjelasan yang diproduksi oleh Gemini 3 Flash menunjukkan hasil yang konstan. Struktur kalimat, pilihan terminologi sains, hingga urutan konsep fisika yang disajikan dalam 10 kali pengujian tersebut memperlihatkan hasil tekstual yang nilai

persentase kesamaan tema/tekstual 100%.



Gambar 4. Contoh Hasil Penilaian Fisika

Sistem penilai karakter internal juga mencatat profil panjang luaran dari seluruh uji coba tersebut. Rentang panjang teks penjelasan yang dihasilkan secara stabil berada pada kisaran 850 hingga 1050 karakter. Fakta empiris ini membuktikan bahwa luaran sistem tidak pernah melampaui batas atas kognitif 1200 karakter yang dapat memicu kelelahan visual bagi pelajar pengguna.

4.2 Pembahasan

Keberhasilan sistem SmartFisika dalam menyajikan analisis fenomena alam secara konsisten menjadi bukti krusial bahwa sifat acak (*stochastic nature*) dari *large language model* dapat diredam melalui rekayasa parameter yang presisi.

Pada implementasi generatif AI konvensional, variasi jawaban sering kali menjadi kendala utama yang membingungkan siswa ketika mencoba mempelajari satu objek visual secara berulang (Adamopoulou & Moussiades, 2020). Penguncian nilai parameter tingkat kebebasan pada level mutlak, yaitu $temperature = 0.0$, terbukti memaksa model untuk membuang opsi kata sekunder dan hanya berfokus pada token dengan probabilitas tertinggi. Penetapan variabel jangkar $seed = 42$ melengkapi standarisasi ini dengan memastikan jalur komputasi internal model menghasilkan keputusan bahasa yang identik untuk matriks piksel yang sama. Karakteristik respons yang dapat diprediksi ini menjadi prasyarat mutlak dalam membangun platform e-learning yang

andal dan tepercaya bagi institusi pendidikan (Alshammari, 2025).

Intervensi prapemrosesan citra digital di tingkat backend menggunakan kernel konvolusi penajam terbukti memberikan dampak signifikan terhadap ketajaman penalaran spasial model. Foto fenomena fisik yang ditangkap secara kasual oleh pelajar umumnya memiliki keterbatasan pada aspek pencahayaan dan ketajaman fokus. Melalui operasi matematis konvolusi piksel, kontur geometris dan siluet struktural objek dipertegas sebelum visual tersebut dipecah menjadi token-token spasial oleh sensor *agentic vision* model (Gonzalez & Woods, 2018). Peningkatan kontras yang proporsional membantu model mengisolasi objek fisik utama dari gangguan latar belakang yang tidak relevan (Santoso & Wijaya, 2025). Efek dari peningkatan kualitas citra ini terlihat nyata pada akurasi deteksi fitur kompleks, di mana Gemini 3 Flash mampu mengenali orientasi mekanis maupun distorsi optik pada gambar secara lebih tajam dibandingkan tanpa proses penyaringan awal (Maverick et al., 2026).

Penerapan aturan format kaku dengan batas maksimal 1200 karakter berhasil mengatasi problem klasik teks generatif yang cenderung panjang dan bertele-tele. Penjelasan ilmiah yang terlalu teoretis dan tidak terstruktur justru sering kali mengaburkan substansi materi materi sains yang ingin disampaikan kepada siswa (Bezirhan & von Davier, 2023). Batasan karakter ini memaksa model melakukan sintesis informasi secara padat dan langsung mengarah pada inti fenomena. Struktur empat pilar yang disajikan (Situasi, Tiga Konsep Utama, Insight Praktis, dan Rekomendasi Edukatif) berfungsi sebagai perancah kognitif (*cognitive scaffolding*) yang membantu pelajar membangun peta konsep secara sistematis dalam memorinya. Pembatasan ruang baca ini sangat adaptif terhadap psikologi belajar remaja, mengingat batas konsentrasi visual siswa dalam membaca penjelasan berbasis layar gawai cenderung menurun drastis saat dihadapkan pada teks yang panjang (Sari, 2025).

Meskipun sistem menunjukkan performa analitis yang tinggi, ketergantungan SmartFisika terhadap ketersediaan ekstensi grafis seperti pustaka GD pada server backend menjadi catatan penting. Tanpa adanya modul prapemrosesan citra digital di tingkat hulu, akurasi interpretasi model multimodal akan langsung mengalami penurunan jika diumpani dengan foto berkualitas

rendah. Namun, secara keseluruhan, penggabungan teknik manipulasi citra murni dengan parameter deterministik LLM pada aplikasi SmartFisika terbukti mampu menciptakan media sosialisasi sains yang interaktif, konsisten, dan efektif untuk merangsang minat eksplorasi ilmiah mandiri bagi para pelajar di lingkungan sekitar mereka.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pengembangan aplikasi SmartFisika berhasil membuktikan bahwa pemanfaatan *multimodal large language models*, khususnya Gemini 3 Flash, dapat dioptimalkan secara terukur sebagai media pembelajaran fisika terapan yang konsisten dan ramah pelajar. Integrasi modul prapemrosesan citra digital di tingkat *backend* terbukti mampu mengompensasi kelemahan visual dari foto tangkapan perangkat bergerak milik siswa melalui penonjolan kontur geometris objek fisik yang distingtif sebelum diekstrak oleh sensor *agentic vision* model.

Penguncian parameter kontrol bahasa melalui kombinasi nilai *temperature* 0.0 dan parameter *seed* 42 secara empiris berhasil meniadakan sifat acak dari sistem generatif murni, sehingga mampu menghasilkan teks penjelasan ilmiah yang sepenuhnya identik dalam pengujian berulang. Selain itu, penegakan regulasi format kaku berupa pembatasan *hard limit* maksimal 1200 karakter terbukti efektif memaksa model menyajikan visualisasi pengetahuan sains yang padat dan terstruktur ke dalam empat pilar utama tanpa mengurangi akurasi substansi ilmiah. Pendekatan perancangan ini berhasil mengatasi hambatan kelelah kognitif visual siswa, sekaligus menempatkan SmartFisika sebagai asisten belajar mandiri yang tepercaya di luar ruang kelas formal.

5.2 Rekomendasi

Berdasarkan keterbatasan operasional sistem yang diidentifikasi selama tahapan eksperimen, terdapat beberapa poin rekomendasi konkret yang dapat diangkat untuk pengembangan riset selanjutnya.

- Penelitian berikutnya disarankan untuk memperluas cakupan algoritma modul prapemrosesan citra dengan mengintegrasikan fungsi restorasi pencahayaan adaptif guna menangani sampel foto siswa yang diambil dalam

kondisi pencahayaan ekstrem atau malam hari.

- Pengembangan arsitektur perangkat lunak SmartFisika ke depan perlu mempertimbangkan integrasi basis data konstanta fisik lokal pada lapisan *backend* guna memperkuat akurasi kalkulasi numerik otomatis saat model mendeteksi fenomena mekanika fluida maupun termodinamika yang lebih kompleks.
- Disarankan untuk melakukan uji eksperimental skala luas yang melibatkan kelompok kontrol pelajar di berbagai sekolah guna mengukur dampak retensi kognitif jangka panjang serta tingkat kepuasan antarmuka pengguna terhadap aplikasi SmartFisika secara masif.

DAFTAR PUSTAKA

- A'ini, Q., & Khoiriyah, R. (2024). Merevolusi pendidikan dengan kecerdasan buatan chatbots: Meningkatkan pembelajaran dan penilaian. *Jurnal Multidisiplin Ibrahimy*, 2(1), 54–71. <https://doi.org/10.35316/jummy.v2i1.5510>
- Abolnejadian, M., Alipour, S., & Taeb, K. (2024). Leveraging ChatGPT for adaptive learning through personalized prompt-based instruction: A CS1 education case study. In *Extended abstracts of the CHI conference on human factors in computing systems (CHI EA '24)*. Association for Computing Machinery.
- Adamopoulou, E., & Moussiades, L. (2020). An overview of chatbot technology. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology* (Vol. 584). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49186-4_31
- Ahmed, U. Z., Sahai, S., Leong, B., & Karkare, A. (2025). Feasibility study of augmenting teaching assistants with AI for CS1 programming feedback. In *Proceedings of the 56th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 11–17). Association for Computing Machinery.
- Alshammari, M. T. (2025). An investigation into ChatGPT-enhanced adaptive e-learning systems. *TEM Journal*, 14(1), 503–510.
- Alvarez, J. I. (2024). Evaluating the impact of AI-powered tutors MathGPT and Flexi 2.0 in enhancing calculus learning. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 8(2), 495–508.
- Asseri, B., Abdelaziz, E., Al Mogren, M., Alhefdhi, T., & Al-Wabil, A. (2025). *Deciphering emotions in children storybooks: A comparative analysis of multimodal LLMs in*

- educational applications.
- Azmi, K., & Fithriani, R. (2025). Students' perceptions of Gemini AI effectiveness as a contextual learning assistant. *Journal of Intelligent Educational Systems*, 3(1), 22–34.
- Baba, K., Faddouli, N.-E.-E., & Cheimanoff, N. (2024). Mobile-optimized AI-driven personalized learning: A case study at Mohammed VI Polytechnic University. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 18(4), 81–96.
- Baskara, R. (2026). A comparative study of Google Gemini and ChatGPT in enhancing English language learning for EFL learners. *Pedagogical Research*, 11(2), 145–156.
- Bergerhoff, J., Bendler, J., Stefanov, S., Cavinato, E., Esser, L., Tran, T., & Härmä, A. (2025). Automatic conversational assessment using large language model technology. In *Proceedings of the International Conference on Education Technology and Computers* (pp. 39–45). Association for Computing Machinery.
- Bešlić, A., Bešlić, J., & Kamber Hamzić, D. (2024). Artificial intelligence in elementary math education: Analyzing impact on students achievements. In *Digital transformation in education and artificial intelligence application* (pp. 27–40). Springer.
- Bezirhan, U., & von Davier, M. (2023). Automated reading passage generation with OpenAI's large language model. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, Article 100161.
- Cahyadi, R. A. (2019). Pengembangan media pembelajaran berbasis mobile-learning pada mata pelajaran fisika untuk meningkatkan pemahaman konsep. *Jurnal Inovasi Pendidikan Sains*, 8(1), 10–19.
- Dinata, R. M., Marhaeni, M., & Mustika, L. (2025). Penguatan literasi digital melalui pengabdian masyarakat untuk peningkatan kapasitas guru dan operator sekolah di Desa Kademangan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Ekonomi, Manajemen dan Akuntansi (JPMEMA)*, 4(1), 24–34.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital image processing* (4th ed.). Pearson.
- Imran, M., & Almusharraf, N. (2024). Google Gemini as a next-generation AI educational tool: A review of emerging educational technology. *Smart Learning Environments*, 11(1), 30–42. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00310-z>
- Kurniawan, A. (2021). *Kontekstualisasi pembelajaran sains tingkat menengah berbasis lingkungan*. Penerbit Edukasi Nusantara.
- Maverick, A., Radu, C., & Popescu, M. (2026). Aerial image analysis: When LLMs assist in complex object detection and feature extraction. *MDPI Futures in Computer Science*, 18(2), 77–92.
- Santoso, A. B., & Wijaya, K. (2025). Implementasi template matching dan segmentasi citra menggunakan teknik peningkatan kontras untuk perangkat cerdas. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(2), 45–56.
- Wiyatmo, Y. (2020). *Fisika terapan dalam kehidupan sehari-hari*. Pustaka Pelajar.