

Sistem Deteksi Kehalalan Produk Makanan Kemasan Berbasis XAI dengan Integrasi Vision Model dan Web-Retrieval

Muhammad Daffa Raihan
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, Indonesia
22523184@students.uui.ac.id

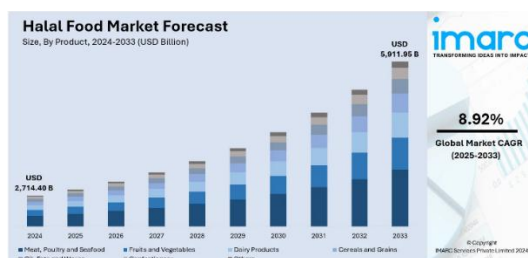
Syarif Hidayat
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, Indonesia
syarif@uui.ac.id

Abstract— Verifikasi kehalalan produk kemasan menjadi tantangan yang banyak dialami konsumen di berbagai negara karena istilah bahan yang kompleks, perbedaan bahasa, dan beragamnya logo halal dari berbagai lembaga sertifikasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa verifikasi halal merupakan kebutuhan luas yang belum memiliki solusi praktis dan dapat dipercaya. Penelitian ini mengevaluasi sebuah pipeline verifikasi halal yang mengintegrasikan GPT-5, OCR, web-retrieval, dan Explainable AI (XAI) untuk menghasilkan keputusan halal-haram yang transparan dan dapat ditelusuri. Sistem mengekstraksi elemen visual kemasan, memperoleh komposisi bahan melalui pencarian web berlapis, dan menggabungkan seluruh bukti dalam proses reasoning. Evaluasi pada 100 produk menunjukkan performa tinggi dengan akurasi 93%, recall 100%, presisi 87,72%, dan spesifisitas 86%. Sistem juga mampu mengenali logo halal yang tampak sebagian, menilai istilah ambigu seperti *bacon flavor* secara hati-hati, serta mendeteksi produk haram berlogo tidak sah. Kesalahan yang muncul berupa false positive yang terutama disebabkan keterbatasan informasi dari web. Pendekatan multimodal ini menunjukkan potensi kuat sebagai alat bantu verifikasi halal yang berbasis bukti dan mudah dipahami tanpa menggantikan peran otoritas sertifikasi resmi.

Keywords—halal verification, multimodal AI, web-retrieval, OCR, explainable AI, GPT-5.

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri makanan kemasan global menyebabkan konsumen semakin bergantung pada informasi pada label untuk memastikan status keamanan dan kehalalan produk. Nilai pasar makanan halal mencapai USD 2,71 triliun pada tahun 2024 dan diproyeksikan meningkat hingga USD 5,91 triliun pada tahun 2033, seiring dengan meningkatnya populasi Muslim yang kini melebihi 1,9 miliar jiwa [1], [2]. Meskipun permintaan produk halal terus meningkat, proses verifikasi halal pada produk kemasan masih menghadapi berbagai tantangan di tingkat konsumen.



Gambar. 1. Halal Food Market Forecast [1]

Salah satu hambatan utama berasal dari kompleksitas terminologi bahan. Banyak produk menggunakan istilah

teknis, nama ilmiah, atau kode aditif seperti E-number, yang dapat berasal dari sumber nabati maupun hewani. Contohnya, E471 dapat dibuat dari minyak nabati [11], tetapi juga dapat berasal dari lemak babi [3], [4]. Hal ini membuat konsumen tidak dapat mengandalkan label secara langsung untuk menentukan status kehalalan. Tantangan semakin besar pada produk impor, karena perbedaan bahasa mempersulit identifikasi istilah sensitif, seperti *pork* atau *lard*, yang dapat muncul dalam bentuk 猪油 (Mandarin) atau 라드 (Korea). Survei IFANCA (2022) menunjukkan bahwa 72% konsumen Muslim mengalami kesulitan memverifikasi kehalalan produk ketika berada di negara non-Muslim mayoritas [9].

Variasi logo halal di berbagai negara juga menjadi tantangan tersendiri. Lebih dari 100 lembaga sertifikasi halal di seluruh dunia menggunakan logo yang berbeda-beda [5], [6]. Akibatnya, wisatawan Muslim yang pada 2024 mencapai 176 juta orang dan diperkirakan meningkat menjadi 245 juta pada 2030 [7] sering kali kesulitan mengenali keaslian logo halal pada produk yang mereka temui di luar negeri.

Solusi yang ada saat ini masih memiliki keterbatasan. Basis data halal konvensional sering kali tidak diperbarui secara *real-time* dan cakupannya terbatas pada satu negara tertentu. Sementara itu, pencarian melalui internet sering menghasilkan informasi yang bercampur antara sumber kredibel dan tidak kredibel [8], [10], sehingga verifikasi secara mandiri menjadi sulit bagi konsumen.

Kemajuan teknologi kecerdasan buatan menyediakan peluang baru dalam upaya mempermudah proses verifikasi halal. Model computer vision dapat digunakan untuk mendeteksi logo halal dan mengekstraksi teks dari kemasan produk. Mekanisme web-retrieval memungkinkan pengambilan informasi bahan secara real-time dari sumber global yang kredibel. Namun, penggunaan AI dalam konteks keagamaan memerlukan tingkat transparansi yang tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa mekanisme explainable AI (XAI) dapat meningkatkan kepercayaan pengguna hingga 34% [13], dan 40% organisasi menilai kurangnya kemampuan menjelaskan keputusan AI sebagai risiko utama dalam implementasi teknologi ini [14].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa teknologi untuk mendukung verifikasi halal masih terfragmentasi. Sistem *computer vision* yang ada umumnya hanya berfokus pada deteksi logo atau pembacaan teks secara terpisah [23]. Studi berbasis klasifikasi teks juga terbatas, sering kali hanya mendukung dua bahasa dan tidak mampu mengatasi istilah ambigu seperti gelatin atau *E-number* [22]. Sementara itu, metode laboratorium seperti PCR dan FTIR memiliki akurasi tinggi namun tidak praktis digunakan oleh konsumen umum

[20], [21]. Hingga saat ini, belum ada pendekatan yang mengintegrasikan deteksi visual, OCR, web-retrieval, dan XAI dalam satu kerangka kerja terpadu untuk mendukung proses verifikasi halal oleh pengguna.

Untuk memberikan gambaran mengenai tantangan yang dihadapi konsumen, Tabel I merangkum hambatan umum dalam memahami status halal produk kemasan.

TABEL 1. Hambatan Umum

Tantangan	Penjelasan	Contoh	Dampak
Istilah teknis & E-number	Sumber bahan tidak jelas	E471, E476	Ambiguitas halal
Hambatan bahasa	Label hanya dalam bahasa lokal	Pork (猪肉-Mandarin)	Salah interpretasi
Variasi logo halal	>100 variasi logo	BPJPH, JAKIM, MUIS, IFANCA	Konsumen bingung
Database tidak mutakhir	Cakupan geografis terbatas	Aplikasi halal lokal	Verifikasi lambat
Sumber tidak kredibel	Informasi bercampur	Blog vs regulator	Potensi misinformasi

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sebuah pipeline verifikasi halal berbasis gambar kemasan yang mengintegrasikan *model vision*, *optical character recognition*, mekanisme *web-retrieval*, dan penjelasan berbasis XAI. Sistem ini dirancang untuk membantu konsumen menilai status halal produk melalui pendekatan reasoning multimodal yang transparan dan dapat ditelusuri.

Kontribusi utama penelitian ini meliputi:

1) Kontribusi teknis:

Perancangan pipeline hybrid yang menggabungkan deteksi logo halal, ekstraksi teks komposisi, dan *web-retrieval* berbasis kredibilitas untuk mendukung verifikasi halal lintas negara. Penelitian ini tidak mengembangkan atau melatih model baru, melainkan merancang alur integrasi sistem multimodal secara *end-to-end*.

2) Kontribusi metodologis:

Penggunaan pendekatan *zero-shot multimodal reasoning* dan *retrieval-augmented decision flow* untuk menggabungkan bukti visual, informasi bahan, dan hasil pencarian web dalam proses penentuan status halal. Pendekatan ini dapat direplikasi dan diadaptasi pada skenario produk kemasan lainnya.

3) Kontribusi praktis:

Implementasi mekanisme *dual-level XAI* yang mencakup penjelasan visual (*grounding area* penting pada kemasan) serta reasoning berbasis bukti bahan dan hasil *web-retrieval*. Penjelasan ini dirancang agar keputusan sistem mudah dipahami dan ditelusuri oleh pengguna.

II. LITERATUR REVIEW

Bagian ini mengulas empat domain penelitian utama yang mendasari pengembangan sistem verifikasi halal menggunakan pendekatan multimodal, yaitu *Explainable Artificial Intelligence (XAI)* (Subbab II-A), autentikasi halal (II-B), analisis kemasan menggunakan *computer vision* dan OCR (II-C), serta teknik *web-retrieval* untuk verifikasi bahan (II-D). Subbab II-E menyajikan sintesis kesenjangan penelitian dan perumusan posisi penelitian ini.

A. Explainable Artificial Intelligence (XAI)

Model deep learning modern umumnya bersifat *black-box*, sehingga pengguna sulit memahami dasar pengambilan keputusan model. Tjoa dan Guan [12] menekankan bahwa transparansi AI merupakan kebutuhan teknis dan etis, terutama pada domain sensitif seperti kesehatan, keuangan, atau keagamaan. Studi lain menunjukkan bahwa integrasi XAI dapat meningkatkan kepercayaan pengguna hingga 34% [13], sementara laporan industri menyebutkan bahwa 40% organisasi menganggap kurangnya explainability sebagai risiko utama dalam implementasi AI [14].

XAI mencakup berbagai metode seperti *ante-hoc* dan *post-hoc interpretability* [16], penjelasan global dan lokal [12], serta teknik model-agnostic seperti LIME dan SHAP, maupun teknik model-specific seperti GradCAM dan *Integrated Gradients* [15], [17]. GradCAM banyak digunakan dalam *computer vision* karena stabilitasnya dalam menyoroti area penting dalam citra [18], sementara SHAP menawarkan atribusi fitur yang konsisten secara matematis.

Meskipun demikian, XAI menghadapi tantangan seperti *trade-off* antara akurasi dan interpretabilitas, ketiadaan standar evaluasi, serta risiko penjelasan yang menyesatkan [19]. Dalam konteks verifikasi halal, transparansi menjadi aspek kritical karena berkaitan dengan pertimbangan religius. Penelitian ini mengadopsi pendekatan dua lapis untuk menjamin interpretabilitas.

B. Autentikasi Halal

Metode laboratorium seperti *electronic nose* [20], PCR, FTIR, dan HPLC [21] terbukti memiliki akurasi sangat tinggi, misalnya PCR mampu mendeteksi DNA babi hingga 0,0001 ng. Namun, metode ini membutuhkan peralatan khusus, waktu analisis lama, dan tidak dapat diterapkan oleh pengguna umum secara langsung.

Pada tingkat konsumen, verifikasi halal banyak bergantung pada label kemasan dan logo sertifikasi. Namun, lebih dari 100 logo halal berbeda digunakan secara global [5], [6], sehingga konsumen sering bingung, terutama saat berada di luar negeri [7]. Hambatan bahasa juga merupakan faktor signifikan; 72% konsumen Muslim dilaporkan kesulitan memverifikasi halal saat berada di negara non-Muslim mayoritas [9].

Pendekatan pembelajaran mesin berbasis teks telah dikembangkan [22], namun dataset terbatas dan tidak menangani istilah ambigu seperti gelatin atau E-numbers. Selain itu, laporan mislabeling pada produk daging olahan yang mencapai 78,3% menunjukkan perlunya pendekatan tambahan yang lebih komprehensif [21].

C. Computer Vision dan OCR untuk Analisis Kemasan

Model computer vision seperti ResNet dan EfficientNet telah menunjukkan performa tinggi dalam klasifikasi

makanan, misalnya akurasi 94,65% pada ResNet101 [24]. Namun, deteksi logo halal berukuran kecil dengan ratusan variasi tetap menantang. Faster R-CNN memiliki presisi tinggi untuk objek kecil [26], sedangkan YOLO menawarkan waktu inferensi cepat namun kurang optimal untuk objek kecil [28].

OCR pada kemasan makanan juga tidak mudah. Penelitian pada 1.628 kemasan menunjukkan bahwa model OCR populer seperti Tesseract memiliki tingkat kesalahan yang tinggi (WER 6.262), terutama untuk kondisi dunia nyata seperti glare, teks melengkung, dan bahasa campuran [23]. Sistem OCR seperti EasyOCR, PaddleOCR, dan TrOCR menghadapi kendala serupa.

Temuan ini menunjukkan bahwa OCR dan vision saja tidak cukup tanpa dukungan web-retrieval dan reasoning semantik.

D. Web-Retrieval for Ingredient Verification

Banyak bahan makanan menggunakan istilah teknis atau multibahasa seperti gelatin, E471, 猪油, atau ไช้มันหมู, sehingga memerlukan pemeriksaan melalui sumber eksternal. Namun, hasil pencarian umum sering mencampur informasi relevan dan tidak kredibel. Lioma et al. [29] menekankan bahwa relevansi bukan jaminan kredibilitas, dan mereka mengusulkan metrik evaluasi yang menggabungkan keduanya.

Kualitas struktur HTML juga mempengaruhi reliabilitas informasi, di mana fitur kualitas dokumen meningkatkan performa IR [30]. Pendekatan berbasis lexical chain memungkinkan hubungan semantik antar-istilah dianalisis lebih dalam [31]. Sementara itu, SERP API menunjukkan stabilitas tinggi untuk aplikasi mobile dan analisis berskala besar [32], [33].

E. Sintesis Gap Penelitian dan Positioning Sistem

Dari literatur review, terdapat tiga kesenjangan utama:

1) Kesenjangan teknis:

belum adanya sistem yang mengintegrasikan deteksi logo, OCR bahan, web-retrieval, dan reasoning dalam satu pipeline end-to-end.

2) Kesenjangan metodologis:

belum ada penelitian yang menangani >100 logo halal global [5], [6] serta error OCR pada kemasan dunia nyata [23].

3) Kesenjangan explainability:

belum ada penelitian yang menerapkan XAI pada domain verifikasi halal.

Sintesis gap berikut dirangkum pada Tabel 2.

TABEL 2. Sintesis gap

Domain	State-of-the-Art	Gap	Kontribusi Studi Ini
Vision	YOLO, SSD, Faster R-CNN	Tidak ada model logo halal global	Deteksi multi-negara berbasis reasoning + robustness GPT-5

OCR	Tesseract, EasyOCR, PaddleOCR	Tidak robust untuk kemasan nyata	ROI extraction + normalization + multimodal parsing
Web Retrieval	Relevance-credibility & lexical chain	Tidak fokus pada bahan halal	Halal-focused semantic retrieval
XAI	GradCAM, SHAP	Tidak ada XAI untuk reasoning halal	Dual-level XAI: visual + reasoning LLM

III. METODOLOGI

Bab ini menjelaskan seluruh tahapan metodologi yang digunakan dalam penelitian, mulai dari perancangan sistem, persiapan data, implementasi pipeline, hingga proses pengujian dan evaluasi. Penelitian ini menggunakan pendekatan system evaluation, yaitu menilai performa pipeline verifikasi halal berbasis integrasi GPT-5, OCR, dan web-retrieval melalui SERP API. Fokus penelitian sepenuhnya berada pada mode single-side input, yakni penggunaan satu gambar bagian depan kemasan produk sebagai sumber informasi utama.

A. Fase Perencanaan

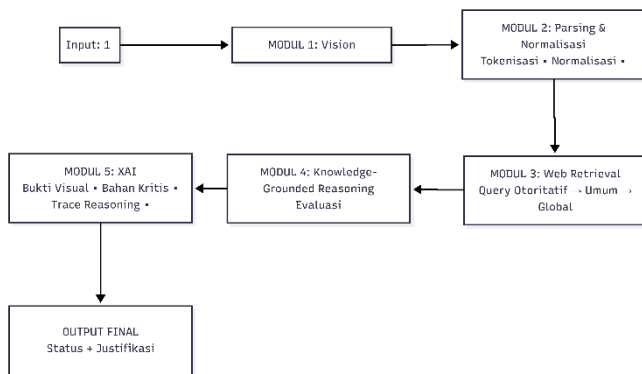
Fase perencanaan bertujuan mendefinisikan arsitektur sistem, modul-modul utama, serta mekanisme operasional pipeline secara komprehensif. Tahapan ini dimulai dengan perancangan arsitektur pipeline multimodal yang dirancang sebagai sistem terintegrasi yang terdiri dari empat komponen utama. Komponen pertama adalah Vision OCR yang bertanggung jawab untuk ekstraksi teks dan deteksi logo pada kemasan produk. Komponen kedua adalah modul parsing dan normalisasi daftar bahan yang memproses informasi bahan mentah menjadi format terstandar. Komponen ketiga adalah web-retrieval yang berfungsi untuk verifikasi bahan melalui sumber-sumber daring. Komponen terakhir adalah Explainable AI (XAI) yang menyediakan justifikasi transparan atas setiap keputusan klasifikasi yang dihasilkan sistem.

Pemilihan teknologi dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan multimodal dan kemampuan reasoning tingkat lanjut. GPT-5 dipilih sebagai modul utama karena kapabilitasnya dalam pemahaman visual, OCR, translasi bahasa, dan reasoning berbasis multimodal. Model ini mampu memproses gambar kemasan sekaligus mengekstraksi informasi tekstual dan visual secara simultan. Untuk pengambilan informasi dari web, SERP API digunakan karena menyediakan akses terstruktur dan terukur terhadap hasil pencarian yang relevan dengan verifikasi bahan produk.

Perancangan mode input dalam penelitian ini secara eksplisit difokuskan pada single-side input, di mana sistem hanya menerima gambar bagian depan kemasan sebagai masukan tunggal. Pendekatan ini berarti tidak dilakukan pemindaian atau pembacaan daftar bahan dari sisi belakang kemasan secara langsung oleh sistem vision. Sebagai gantinya, daftar bahan diperoleh melalui proses web-retrieval berbasis nama produk yang diekstraksi dari gambar bagian depan. Konsekuensi dari pendekatan ini adalah bahwa seluruh reasoning dan proses verifikasi sangat bergantung pada kombinasi bukti visual dari kemasan depan dan hasil pencarian web yang relevan.

Strategi web-retrieval dirancang secara bertahap untuk memaksimalkan peluang mendapatkan informasi bahan yang akurat dan terpercaya. Tahap pertama adalah pencarian sumber otoritatif dengan mengecualikan domain marketplace yang cenderung memiliki informasi tidak terverifikasi. Jika tahap pertama tidak menghasilkan informasi memadai, sistem melanjutkan ke tahap kedua yaitu pencarian umum tanpa filter tambahan untuk memperluas cakupan sumber. Tahap ketiga sebagai fallback terakhir adalah pencarian global yang menggunakan parameter domain internasional untuk mengakses informasi dari sumber luar negeri yang mungkin relevan.

Arsitektur sistem secara keseluruhan yang merangkum seluruh komponen dan alur pemrosesan ditunjukkan pada Gambar 2. Diagram ini mengilustrasikan lima modul utama yang bekerja secara sekuensial, dimulai dari input gambar tunggal pada Modul 1 (Vision), diikuti oleh Modul 2 (Parsing & Normalisasi) yang memproses hasil ekstraksi teks dan data web, Modul 3 (Web Retrieval) yang melakukan pencarian bertahap dari query otoritatif hingga global, Modul 4 (Knowledge-Grounded Reasoning) yang melakukan evaluasi berbasis pengetahuan halal-haram, dan berakhir pada Modul 5 (XAI) yang menghasilkan output final berupa status produk beserta justifikasi transparan yang mencakup bukti visual, bahan kritis, dan trace reasoning.



Gambar. 2. Arsitektur Pipeline Verifikasi Halal Berbasis Multimodal dengan Mode Single-Side Input

B. Fase Persiapan Data

Pengumpulan sampel dilakukan dengan mengakuisisi 100 gambar produk kemasan yang seluruhnya berupa bagian depan kemasan, sesuai dengan fokus single-side input yang menjadi batasan penelitian. Setiap gambar dipilih untuk merepresentasikan berbagai skenario yang mungkin ditemui dalam praktik verifikasi halal di lapangan.

Dataset kemudian dikategorisasi menjadi empat kategori yang seimbang untuk memastikan evaluasi yang komprehensif terhadap berbagai kasus. Kategori pertama terdiri dari 25 produk halal dengan logo resmi yang terverifikasi. Kategori kedua mencakup 25 produk halal tanpa logo yang menguji kemampuan sistem dalam verifikasi berbasis komposisi bahan. Kategori ketiga berisi 25 produk haram tanpa logo yang menantang sistem untuk mendeteksi bahan non-halal tanpa petunjuk visual eksplisit. Kategori terakhir adalah 25 produk haram dengan logo tidak sah yang menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi pemalsuan logo halal.

Validasi ground truth dilakukan melalui proses tiga tahap untuk memastikan akurasi label referensi. Tahap pertama adalah verifikasi keaslian logo dengan membandingkan logo yang terdeteksi pada kemasan dengan logo resmi BPJPH dan lembaga sertifikasi halal lainnya seperti JAKIM, MUIS, dan IFANCA. Tahap kedua adalah pemeriksaan komposisi bahan dengan fokus khusus pada identifikasi bahan non-halal dan bahan kritis yang memerlukan sertifikasi halal. Tahap ketiga adalah cross-check dengan database halal resmi dari BPJPH, JAKIM, MUIS, dan IFANCA untuk memvalidasi status halal produk secara menyeluruh.

Encoding gambar dilakukan dengan standar teknis tertentu untuk memastikan kompatibilitas dengan model GPT-5. Gambar diterima dalam format JPG atau PNG dengan ukuran maksimal 10 MB untuk menjaga keseimbangan antara kualitas visual dan efisiensi pemrosesan. Sebelum dikirim ke model, setiap gambar diubah menjadi format Base64 yang merupakan representasi teks dari data biner, memungkinkan transmisi gambar melalui API secara efisien.

C. Fase Implementasi

Pipeline dibangun melalui serangkaian modul yang saling terintegrasi dan beroperasi secara sekuensial maupun paralel. Modul Vision menjadi komponen pertama yang memproses gambar kemasan menggunakan GPT-5. Dalam modul ini, sistem melakukan deteksi logo halal atau logo tidak sah yang mungkin tercetak pada bagian depan kemasan. Selain itu, modul ini mengekstraksi nama produk beserta teks relevan lainnya seperti merek, varian, dan informasi tekstual yang terlihat. Klasifikasi visual dasar juga dilakukan untuk memberikan penilaian awal terhadap karakteristik produk berdasarkan penampilan visual kemasan.

Modul Parsing difokuskan pada pemrosesan snippet hasil web-retrieval untuk menghasilkan daftar bahan yang terstandar dan dapat dianalisis. Proses parsing mencakup normalisasi istilah bahan yang mungkin memiliki variasi penulisan atau sinonim, translasi istilah asing ke dalam bahasa yang dapat dipahami sistem reasoning, serta penyatuan berbagai format daftar bahan dari sumber-sumber berbeda menjadi format konsisten yang dapat diproses lebih lanjut.

Modul Web-Retrieval menjalankan tahapan pengambilan informasi secara sistematis. Query pencarian dibentuk berdasarkan nama produk yang telah diekstraksi oleh GPT-5 dari gambar kemasan. Pada tahap awal, sistem melakukan eksklusi terhadap domain marketplace untuk memprioritaskan sumber yang lebih kredibel seperti situs resmi produsen, lembaga sertifikasi, dan database produk terpercaya. Jika hasil awal tidak memadai, sistem melakukan fallback ke pencarian umum tanpa filter domain, dan jika masih diperlukan, dilanjutkan dengan pencarian global. Snippet hasil pencarian kemudian digabungkan dan daftar bahan dinormalisasi untuk menghasilkan informasi komposisi produk yang komprehensif.

Modul Reasoning merupakan inti dari proses klasifikasi yang menggabungkan berbagai sumber bukti. GPT-5 dalam modul ini mengintegrasikan bukti visual berupa logo dan teks dari kemasan depan, daftar bahan yang diperoleh dari web-retrieval, serta pengetahuan internal mengenai kategori halal

dan haram. Proses reasoning ini menghasilkan klasifikasi akhir dalam tiga kategori: halal untuk produk yang memenuhi standar syariah, haram untuk produk yang mengandung bahan terlarang, atau syubhat untuk produk dengan status yang meragukan atau tidak dapat diverifikasi dengan kepastian tinggi.

Modul Explainable AI (XAI) dirancang untuk menghasilkan penjelasan transparan yang memungkinkan pengguna memahami dasar keputusan sistem. Penjelasan yang dihasilkan mencakup referensi area visual yang relevan pada kemasan yang memengaruhi keputusan, daftar bahan spesifik yang menjadi penyebab klasifikasi, langkah-langkah reasoning yang dilalui sistem dalam mencapai kesimpulan, serta referensi hasil web-retrieval yang mendukung keputusan. Transparansi ini penting untuk membangun kepercayaan pengguna dan memungkinkan validasi manual terhadap keputusan sistem.

D. Fase Pengujian

Pengujian difokuskan pada mode single-side input sesuai dengan ruang lingkup penelitian yang telah ditetapkan. Pengujian modular dilakukan untuk mengevaluasi setiap modul secara independen guna memastikan reliabilitas komponen-komponen sistem. Modul Vision dievaluasi berdasarkan akurasi pendeteksian logo dan ekstraksi nama produk dari gambar kemasan depan. Modul Parsing diuji berdasarkan akurasi normalisasi daftar bahan dan kemampuan menangani variasi format. Modul Web-Retrieval dievaluasi dari segi relevansi hasil pencarian yang dikembalikan oleh SERP API terhadap kebutuhan informasi verifikasi. Modul Reasoning diuji berdasarkan logika keputusan halal atau haram yang dihasilkan, sementara modul XAI dievaluasi dari aspek kejelasan dan keterlacakan penjelasan yang diberikan kepada pengguna.

Pengujian end-to-end dilakukan dengan menjalankan pipeline secara lengkap pada seluruh 100 sampel single-side input. Hasil klasifikasi yang dihasilkan sistem dicatat dan dibandingkan dengan ground truth menggunakan confusion matrix. Confusion matrix ini terdiri dari empat kategori: True Positive (TP) yang merepresentasikan produk halal yang diprediksi halal, True Negative (TN) yang merepresentasikan produk haram yang diprediksi haram, False Positive (FP) yang merepresentasikan produk haram yang salah diprediksi halal, dan False Negative (FN) yang merepresentasikan produk halal yang salah diprediksi haram.

Evaluasi waktu respons dilakukan untuk menilai kelayakan sistem dalam konteks penggunaan near-real-time. Waktu respons diukur untuk tiga komponen utama yaitu waktu proses Vision dan OCR, waktu query SERP API, dan waktu reasoning ditambah XAI. Pengukuran ini memberikan gambaran mengenai performa komputasional sistem dan mengidentifikasi bottleneck yang mungkin perlu dioptimasi untuk deployment praktis.

E. Fase Evaluasi

Evaluasi performa sistem dilakukan menggunakan empat metrik utama, yaitu akurasi, presisi, recall, dan spesifisitas. Keempat metrik ini diturunkan dari confusion matrix yang terdiri atas True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN).

1) Metrik Performa

a) Akurasi (Accuracy)

Mengukur proporsi prediksi yang benar terhadap seluruh data uji.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

b) Presisi (Precision)

Mengukur proporsi prediksi halal yang benar dari seluruh prediksi halal.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

c) Recall (Sensitivity / True Positive Rate)

Mengukur kemampuan sistem dalam mendeteksi produk halal yang benar-benar halal.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

d) Spesifisitas (Specificity / True Negative Rate)

Mengukur kemampuan sistem dalam mengenali produk haram, yaitu proporsi prediksi *haram yang benar* dari seluruh produk yang secara aktual haram.

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4)$$

Metrik ini penting karena sistem verifikasi halal memiliki risiko kritis terutama pada kesalahan False Positive (produk haram namun diprediksi halal). Dengan adanya spesifisitas, performa sistem dalam mencegah kesalahan tersebut dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian sistem verifikasi halal berbasis integrasi GPT-5, OCR, dan web-retrieval yang telah diimplementasikan pada 100 produk makanan kemasan. Pengujian dilakukan secara end-to-end mencakup seluruh pipeline mulai dari ekstraksi visual menggunakan GPT-5, normalisasi istilah bahan, pencarian web berjenjang melalui SERP API, reasoning halal atau haram, hingga generasi penjelasan melalui Explainable AI (XAI). Dataset dibagi secara seimbang ke dalam empat kategori yang merepresentasikan skenario riil di lapangan: halal dengan logo resmi, halal tanpa logo, haram tanpa logo, dan haram dengan logo tidak sah. Distribusi ground truth menghasilkan 50 sampel halal dan 50 sampel haram yang digunakan sebagai basis evaluasi performa sistem.

A. Kinerja Global Sistem

Evaluasi performa global sistem dilakukan berdasarkan confusion matrix yang menunjukkan distribusi prediksi terhadap ground truth aktual. Tabel 3 menyajikan hasil pengujian dalam bentuk confusion matrix yang menjadi dasar perhitungan metrik evaluasi.

TABEL 3. Hasil Pengujian dalam bentuk confusion matrix

Ground Truth	Prediksi Halal	Prediksi Haram
Halal	50	0
Haram	7	43

Dari *confusion matrix* pada Tabel 3, diperoleh nilai True Positive (TP) sebesar 50, yang merepresentasikan seluruh produk halal yang berhasil diprediksi dengan benar sebagai halal. True Negative (TN) bernilai 43, menunjukkan produk haram yang berhasil diidentifikasi sebagai haram. False Positive (FP) tercatat sebanyak 7 kasus, yaitu produk haram yang salah diprediksi sebagai halal. Sementara itu, False Negative (FN) bernilai nol, yang mengindikasikan tidak ada satu pun produk halal yang salah dikategorikan sebagai haram.

Berdasarkan nilai-nilai *confusion matrix* tersebut, metrik performa global dihitung menggunakan persamaan (5) hingga (8). Akurasi sistem dihitung menggunakan persamaan (5) sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \frac{50 + 43}{100} = 93,00\% \quad (5)$$

Presisi, yang mengukur proporsi prediksi halal yang benar dari seluruh prediksi halal, dihitung menggunakan persamaan (6):

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{50}{50 + 7} = 87,72\% \quad (6)$$

Recall atau sensitivitas terhadap produk halal, yang mengukur kemampuan sistem mendeteksi seluruh produk halal aktual, dihitung menggunakan persamaan (7):

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{50}{50 + 0} = 1,0 = 100\% \quad (7)$$

Spesifisitas, yang mengukur kemampuan sistem mendeteksi produk haram dengan benar, dihitung menggunakan persamaan (8):

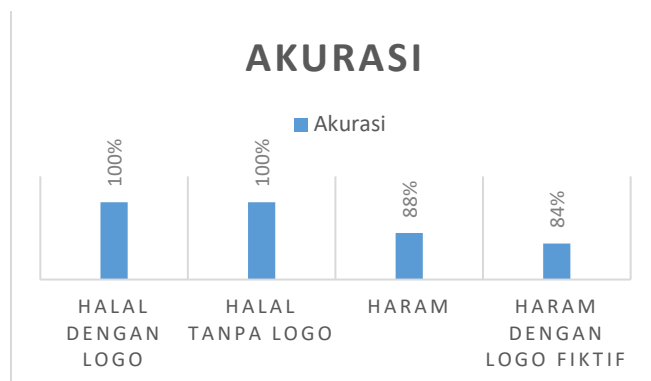
$$\text{Spesifisitas} = \frac{TN}{TN + FP} = \frac{43}{43 + 7} = 86,00\% \quad (8)$$

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa dari 100 sampel yang diuji, sistem menghasilkan 50 *True Positive*, 43 *True Negative*, 7 *False Positive*, dan tidak ada *False Negative*. Kombinasi metrik ini menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar 93%, presisi 87,72%, recall sempurna 100%, dan spesifisitas 86%. Nilai recall sempurna mengindikasikan bahwa sistem mampu mendeteksi seluruh produk halal tanpa menghasilkan satu pun False Negative, yang sangat penting dalam konteks verifikasi halal karena memastikan tidak ada produk halal yang salah ditolak atau dikategorikan sebagai haram. Namun demikian, presisi sebesar 87,72% menunjukkan bahwa terdapat ruang untuk perbaikan dalam mengurangi False Positive, mengingat tujuh kasus produk haram yang salah diprediksi sebagai halal memiliki implikasi serius dalam konteks kepatuhan syariah. Meskipun demikian, spesifisitas sebesar 86% menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi mayoritas produk haram dengan benar, dengan tingkat kesalahan yang relatif terkendali.

Temuan penting dari *confusion matrix* adalah bahwa seluruh kesalahan sistem berasal dari False Positive, sementara tidak ada satu pun False Negative yang tercatat. Pola kesalahan ini mengindikasikan bahwa sistem cenderung bersikap lebih permisif daripada terlalu restriktif. Dalam beberapa kasus, sistem mungkin memberikan benefit of the doubt kepada produk yang informasi bahannya tidak lengkap atau ambigu, sehingga cenderung memprediksi halal ketika bukti eksplisit keharaman tidak ditemukan.

B. Kinerja Berdasarkan Kategori.

Analisis performa sistem pada masing-masing kategori dataset memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai perilaku sistem dalam berbagai skenario verifikasi. Gambar 3 memvisualisasikan distribusi performa sistem berdasarkan empat kategori yang telah ditetapkan.



Gambar 3. Visualisasi performa berdasarkan kategori

Hasil pengujian menunjukkan tiga temuan utama yang mencerminkan karakteristik dan kemampuan sistem. Pertama, deteksi produk halal menunjukkan stabilitas yang sangat tinggi terlepas dari ada atau tidaknya logo halal pada kemasan. Kategori 1 (halal dengan logo resmi) dan kategori 2 (halal tanpa logo) sama-sama mencapai akurasi sempurna sebesar 100%. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem tidak bergantung sepenuhnya pada keberadaan logo halal sebagai satu-satunya indikator verifikasi, melainkan mampu melakukan reasoning yang lebih mendalam berdasarkan komposisi bahan yang diperoleh melalui web-retrieval. Sistem menunjukkan kemampuan robustness GPT-5 dalam mengenali logo halal meskipun posisi atau sudut pengambilan gambar kurang ideal, mengekstraksi informasi yang relevan meski logo tampak sebagian atau terpotong, dan menilai kehalalan produk tanpa bergantung penuh pada keberadaan logo visual. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara bukti visual dan informasi komposisi bahan dari web berjalan dengan efektif dalam mendukung keputusan verifikasi.

Temuan kedua menunjukkan bahwa sistem tidak mengambil keputusan berdasarkan kata kunci semata, melainkan melakukan evaluasi kontekstual yang lebih mendalam. Beberapa produk dalam dataset menampilkan teks seperti "bacon flavor" atau variasi sejenis yang secara superfisial dapat mengindikasikan kandungan babi. Namun, sistem tidak secara otomatis menyimpulkan produk tersebut haram. Sebaliknya, sistem melakukan proses reasoning yang sistematis dengan membaca teks "bacon flavor" pada kemasan, memeriksa daftar bahan lengkap yang diperoleh dari web-retrieval, dan mengevaluasi apakah flavor tersebut berasal dari babi aktual atau dari sumber sintetis dan non-hewani. Perilaku ini menunjukkan bahwa modul reasoning mampu membedakan antara flavor artifisial yang halal dengan kandungan aktual bahan haram, yang merupakan kemampuan kritis dalam verifikasi halal modern di mana banyak produk menggunakan perisa buatan yang meniru rasa daging tanpa mengandung komponen hewani.

Temuan ketiga berkaitan dengan kategori 4, yaitu produk haram dengan logo tidak sah. Seluruh sampel dalam kategori

ini yang diberi logo halal palsu berhasil ditandai sebagai haram oleh sistem, yang menunjukkan bahwa sistem tidak tertipu oleh keberadaan logo visual semata. Namun, beberapa prediksi pada kategori ini memiliki *confidence score* yang lebih rendah, berkisar antara 0,3 hingga 0,4, dibandingkan dengan kategori lainnya. Confidence yang rendah ini disebabkan oleh adanya kontradiksi visual, di mana logo halal terlihat pada kemasan namun komposisi bahan menunjukkan kandungan haram, atau informasi bahan yang ambigu dan tidak konsisten antara yang tertera pada kemasan dengan hasil web-retrieval. Perilaku sistem yang menunjukkan kehati-hatian dan menurunkan confidence ketika menghadapi bukti yang bertentangan ini sebenarnya merupakan karakteristik yang diharapkan. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem tidak mengambil keputusan secara gegabah ketika terdapat sinyal yang saling bertentangan, melainkan mencerminkan ketidakpastian tersebut melalui *confidence score* yang lebih rendah, yang dapat menjadi sinyal bagi pengguna atau auditor untuk melakukan verifikasi manual lebih lanjut.

C. Analisis Kesalahan

Analisis mendalam terhadap kesalahan sistem menunjukkan bahwa seluruh tujuh kasus False Positive berasal dari kategori produk haram, yang terdistribusi pada tiga kasus dari kategori 3 (haram tanpa logo) dan empat kasus dari kategori 4 (haram dengan logo tidak sah). Tidak ada kesalahan yang tercatat pada kategori produk halal, yang konsisten dengan nilai recall sempurna sebesar 100%.

Investigasi terhadap penyebab kesalahan mengungkapkan dua faktor utama yang berkontribusi terhadap terjadinya False Positive. Faktor pertama adalah ketidaklengkapan informasi yang diperoleh dari web-retrieval. Gambar 4 menunjukkan contoh kasus dari kategori 3, yaitu produk Pringles Smokey Bacon Flavour yang berdasarkan validasi ground truth mengandung bahan haram, namun diprediksi halal dengan confidence 0,60.



Gambar. 4. Contoh False Positive Kategori 3: Pringles Smokey Bacon Flavour

Modul Vision berhasil mengekstrak nama produk dengan benar, namun hasil web-retrieval hanya mengembalikan snippet yang menyebutkan produk ini "tidak mengandung daging termasuk babi" dan berstatus "suitable for vegetarians" di Inggris. Snippet tidak menampilkan daftar bahan lengkap seperti detail aditif, perisa, atau emulsifier yang dapat berasal dari sumber hewani non-halal. Tanpa bukti eksplisit tentang kandungan bahan haram, sistem menerapkan kaidah "Al-ashlu fil asyya' al-ibahah" dan memprediksi halal. Keterbatasan ini menggarisbawahi

pentingnya kelengkapan informasi web dalam pipeline single-side input.

Faktor kedua adalah kemiripan visual logo fiktif dengan logo resmi atau adanya ikon "halal" non-resmi. Gambar 5 menunjukkan contoh dari kategori 4, yaitu produk Tokyo Banana yang mengandung bahan haram namun memiliki ikon "halal" non-resmi, diprediksi halal dengan confidence 0,38.

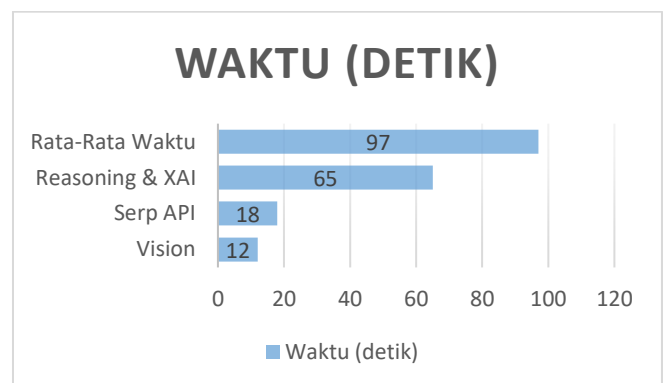


Gambar 5 Contoh False Positive Kategori 4: Tokyo Banana dengan Ikon Halal Tidak Sah

Modul Vision mendeteksi ikon tulisan "halal" di sudut kemasan yang bukan logo resmi lembaga sertifikasi. Web-retrieval hanya menemukan deskripsi umum produk tanpa daftar bahan lengkap atau informasi sertifikasi. Konflik antara sinyal visual (ikon "halal") dan ketiadaan informasi web yang mengonfirmasi kandungan bahan menyebabkan sistem memberikan prediksi halal dengan confidence sangat rendah. Meskipun confidence rendah mencerminkan kehati-hatian sistem, produk tetap diklasifikasikan halal alih-alih syubhat, yang mengindikasikan perlunya penyesuaian threshold klasifikasi pada penelitian selanjutnya.

D. Evaluasi Waktu Eksekusi

Evaluasi waktu eksekusi dilakukan untuk menilai kelayakan sistem dalam konteks aplikasi konsumen yang memerlukan respons dalam waktu yang wajar. Gambar 6 menunjukkan distribusi waktu eksekusi rata-rata untuk setiap komponen utama dalam pipeline.



Gambar. 6. Visualisasi eksekusi waktu per komponen

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa modul reasoning dan XAI merupakan komponen yang memerlukan waktu eksekusi paling lama, dengan rata-rata sekitar 66 detik. Durasi yang relatif panjang ini sejalan dengan kompleksitas proses yang terlibat dalam tahapan tersebut, yang mencakup integrasi bukti dari gambar kemasan, bahan mentah, dan hasil web-retrieval, pemetaan istilah kritis terhadap kategori halal-

haram, serta generasi penjelasan multi-lapis yang transparan dan dapat dilacak. Proses reasoning memerlukan evaluasi kontekstual terhadap berbagai sumber informasi yang mungkin saling bertentangan, sementara modul XAI harus menyusun narasi penjelasan yang koheren dengan merujuk pada bukti visual, bahan spesifik, dan langkah-langkah reasoning yang telah dilakukan.

Modul Vision dan OCR memerlukan waktu sekitar 30 detik, yang mencakup proses ekstraksi teks, deteksi logo, dan klasifikasi visual awal. Sementara itu, modul web-retrieval melalui SERP API memerlukan waktu sekitar 20 detik untuk menjalankan strategi pencarian bertahap dari query otoritatif hingga fallback global. Total waktu eksekusi end-to-end berkisar antara 1 hingga 1,6 menit per produk, yang masih dapat diterima untuk aplikasi konsumen atau proses pemeriksaan manual yang tidak memerlukan respons real-time dalam hitungan detik.

Meskipun waktu eksekusi saat ini masih layak untuk skenario screening produk, terdapat ruang untuk optimisasi terutama pada komponen reasoning dan XAI. Optimisasi dapat dilakukan melalui caching hasil reasoning untuk produk yang telah diverifikasi sebelumnya, paralelisasi beberapa tahapan yang tidak saling bergantung, atau penggunaan model yang lebih efisien untuk sub-task tertentu yang tidak memerlukan kemampuan reasoning tingkat lanjut. Namun demikian, trade-off antara kecepatan dan kualitas reasoning harus dipertimbangkan dengan hati-hati, mengingat pentingnya akurasi dan transparansi dalam konteks verifikasi halal.

E. Pembahasan Umum

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sistem verifikasi halal berbasis integrasi GPT-5, OCR, dan web-retrieval menunjukkan performa yang sangat baik dengan akurasi 93%, recall sempurna 100%, dan spesifisitas 86%. Recall sempurna mengindikasikan tidak ada produk halal yang salah dikategorikan sebagai haram, sehingga konsumen Muslim tidak kehilangan akses terhadap produk halal yang sah. Namun, tujuh kasus False Positive menunjukkan keterbatasan utama sistem yang bergantung pada kelengkapan informasi web, di mana produk haram dapat diprediksi halal ketika komposisi bahan tidak tersedia secara eksplisit dalam hasil web-retrieval.

Sistem menunjukkan tiga kelebihan utama dalam perilaku reasoning. Pertama, sistem robust terhadap variasi visual seperti logo halal yang terlihat sebagian atau sudut pengambilan gambar yang kurang ideal. Kedua, sistem tidak mengambil kesimpulan haram hanya berdasarkan kata kunci seperti "bacon flavor", melainkan melakukan evaluasi kontekstual terhadap daftar bahan lengkap. Ketiga, sistem mampu mendeteksi logo palsu dan tetap menandai produk berlogo tidak sah sebagai haram meskipun terdapat kontradiksi visual.

Pipeline yang dikembangkan efektif untuk skenario screening awal produk makanan kemasan, terutama membantu konsumen dalam verifikasi cepat sebelum pembelian. Namun, sistem ini tidak menggantikan otoritas sertifikasi halal resmi seperti BPJPH, JAKIM, atau MUIS. Keputusan sertifikasi halal resmi tetap memerlukan audit menyeluruh terhadap seluruh rantai produksi, bahan baku,

dan proses manufaktur yang tidak dapat digantikan oleh sistem otomatis berbasis gambar kemasan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan Penelitian

Penelitian ini berhasil mengevaluasi kinerja sistem verifikasi halal berbasis integrasi GPT-5, OCR, web-retrieval melalui SERP API, dan reasoning berbasis Explainable AI (XAI) pada 100 produk makanan kemasan dari empat kategori riil. Sistem mencapai akurasi keseluruhan sebesar 93% dengan recall sempurna 100%, presisi 87,72%, dan spesifisitas 86%. Temuan paling signifikan adalah tidak adanya False Negative (FN = 0), yang mengindikasikan bahwa sistem tidak pernah salah mengkategorikan produk halal sebagai haram. Hal ini menjadikan sistem aman digunakan sebagai alat bantu konsumen dalam melakukan screening awal produk.

Deteksi produk halal menunjukkan stabilitas yang sangat tinggi pada kondisi dunia nyata, dengan akurasi sempurna 100% baik pada kategori halal dengan logo maupun halal tanpa logo. Sistem mampu mengenali logo halal meskipun sudut pengambilan gambar tidak ideal, logo hanya tampak sebagian, atau terdapat gangguan visual seperti glare dan blur. Pada produk tanpa logo, sistem tetap mampu memberikan keputusan halal dengan mengandalkan daftar bahan hasil web-retrieval, yang menunjukkan efektivitas integrasi multimodal antara bukti visual dan informasi tekstual.

Tantangan utama sistem terletak pada deteksi produk haram, dengan akurasi 88% untuk kategori haram tanpa logo dan 84% untuk kategori haram dengan logo tidak sah. Seluruh kesalahan berupa False Positive (FP = 7) terjadi ketika informasi web tidak menampilkan bahan haram secara eksplisit, snippet hasil SERP API terlalu ringkas, atau produk memiliki logo palsu yang menyerupai logo resmi. Meskipun demikian, sistem tetap berhasil mendeteksi mayoritas produk haram (TN = 43), yang mengindikasikan spesifisitas yang cukup baik.

GPT-5 menunjukkan perilaku reasoning yang konsisten, hati-hati, dan berbasis bukti. Model tidak mengambil keputusan hanya berdasarkan kata kunci, seperti terlihat pada kasus teks "bacon flavor" yang tidak langsung disimpulkan haram melainkan dievaluasi berdasarkan sumber flavor aktual. Logo halal palsu tetap dapat ditandai sebagai haram meskipun dengan confidence rendah, dan ketika terdapat bukti yang bertentangan, model menurunkan confidence sambil memberikan penjelasan berbasis konteks. Perilaku ini menunjukkan bahwa pipeline reasoning bersifat evidence-based dan aware terhadap ambiguitas.

Waktu eksekusi sistem rata-rata 97,02 detik per produk, dengan distribusi 12,53 detik untuk Vision dan OCR, 18,30 detik untuk web-retrieval, dan 65,98 detik untuk reasoning dan XAI. Durasi ini masih berada dalam batas layak untuk skenario pemeriksaan manual oleh konsumen atau auditor halal, meskipun belum memenuhi kriteria real-time dalam hitungan detik.

B. Keterbatasan Penelitian

Berdasarkan temuan dan keterbatasan yang telah diidentifikasi, beberapa arah pengembangan dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan performa sistem. Ketergantungan pada kelengkapan informasi web menjadi keterbatasan utama yang perlu diatasi, mengingat tujuh kasus False Positive yang tercatat sebagian besar disebabkan oleh ketidaklengkapan daftar bahan dalam hasil pencarian. Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi strategi web-retrieval yang lebih canggih, seperti crawling langsung ke situs resmi produsen, integrasi dengan database halal terstruktur, atau penggunaan multiple search engines untuk meningkatkan cakupan dan kualitas informasi yang diperoleh.

Penanganan logo halal palsu dengan kemiripan tinggi terhadap logo resmi juga memerlukan perhatian khusus. Pengembangan modul deteksi pemalsuan logo yang lebih sophisticated, misalnya dengan melatih model khusus untuk verifikasi keaslian logo berdasarkan fitur mikro yang sulit dipalsukan, dapat mengurangi ambiguitas visual yang mengganggu proses reasoning. Selain itu, integrasi dengan database logo resmi yang diperbarui secara berkala dari lembaga sertifikasi dapat memperkuat validasi visual.

Optimisasi waktu eksekusi, khususnya pada komponen reasoning dan XAI yang memerlukan rata-rata 66 detik, dapat dilakukan melalui caching hasil reasoning untuk produk yang telah diverifikasi sebelumnya, paralelisasi proses yang tidak saling bergantung, atau penggunaan model yang lebih efisien untuk sub-task tertentu. Namun demikian, trade-off antara kecepatan dan kualitas reasoning harus dievaluasi dengan hati-hati mengingat kompleksitas verifikasi halal yang memerlukan evaluasi kontekstual mendalam.

Eksplorasi mode dual-side input, di mana sistem dapat memproses gambar depan dan belakang kemasan secara simultan, juga dapat menjadi arah penelitian yang menjanjikan. Mode ini dapat mengurangi ketergantungan pada web-retrieval dengan membaca daftar bahan secara langsung dari kemasan belakang, sehingga meningkatkan reliabilitas sistem terutama untuk produk yang informasi webnya terbatas. Meskipun demikian, implementasi mode dual-side input memerlukan desain user experience yang lebih kompleks dan evaluasi terhadap tambahan waktu dan beban komputasi yang diperlukan.

REFERENCES

- [1] "Halal Food Market Size | Industry Statistics, Trends - 2033." Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.imarcgroup.com/halal-food-market>
- [2] C. Espinosa, "Topic: Global halal market," Statista. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.statista.com/topics/4428/global-halal-market/>
- [3] Jul 6 and 2023, "Ingredients & E-Codes | ISA Halal," Islamic Services of America. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.isahalal.com/news-events/blog/know-your-ingredients-halal-food-science-101-and-e-codes>
- [4] Aug 7 and 2025, "Identify Cross Contamination | ISA Halal," Islamic Services of America. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.isahalal.com/news-events/blog/8-red-flags-identify-cross-contamination-food-halal-industry>
- [5] S. Gateway, "A fondness for green - Halal certification logos around the world," Salaam Gateway - Global Islamic Economy Gateway. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://salaamgateway.com/story/halal-certification-logos-around-the-world-the-good-the-bad-and-the-misunderstood>
- [6] sucofindo, "10 Latest International Halal Certification Logos," Sucofindo. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.sucofindo.co.id/en/articles/10-latest-international-halal-certification-logos/>
- [7] "Mastercard-CrescentRating Global Muslim Travel Index reveals trends shaping the future of Halal travel." Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://newsroom.mastercard.com/news/ap/en/newsroom/press-releases/en/2025/mastercard-crescentrating-global-muslim-travel-index-reveals-trends-shaping-the-future-of-halal-travel/>
- [8] N. Yusop, M. Kamalrudin, N. A. Mocketar, and N. Mustafa, "The Role of Language in Malaysia's Halal Food Industry: Trends, Challenges, and Future Directions," *Int. J. Res. Innov. Soc. Sci.*, vol. IX, no. II, pp. 437–445, 2025, doi: 10.47772/IJRIS.2025.9020037.
- [9] A. DeGuide, "IFANCA Survey Uncovers the Need for Consumer Education & Access to Halal-certified Products," IFANCA. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://ifanca.org/ifanca-survey-uncovers-the-need-for-consumer-education-access-to-halal-certified-products/>
- [10] "Travelling Abroad, Here's An Easy Way To Recognize Halal Products | Lembaga Pemeriksa Halal (LPH) LPPOM Sertifikasi Halal." Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://halalmui.org/en/travelling-abroad-heres-an-easy-way-to-recognize-halal-products/>
- [11] L. Adnan, "E-Numbers Guide for Halal Consumers in the UK," *The Halal Times*. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.halaltimes.com/e-numbers-guide-for-halal-consumers-in-the-uk/>
- [12] E. Tjoa and C. Guan, "A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI): Toward Medical XAI," *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.*, vol. 32, no. 11, pp. 4793–4813, Nov. 2021, doi: 10.1109/TNNLS.2020.3027314.
- [13] M. Tuhin, "What Is Explainable AI and Why It's Critical for Trust," *Science News Today*. Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.sciencenewstoday.org/what-is-explainable-ai-and-why-its-critical-for-trust>
- [14] "The Rise of Explainable AI (XAI): A Critical Trend for 2025 and Beyond." Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://blog.algoanalytics.com/2025/05/05/the-rise-of-explainable-ai-xai-a-critical-trend-for-2025-and-beyond/>
- [15] A. Budhkar, Q. Song, J. Su, and X. Zhang, "Demystifying the black box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI) in bioinformatics," *Comput. Struct. Biotechnol. J.*, vol. 27, pp. 346–359, 2025, doi: 10.1016/j.csbj.2024.12.027.
- [16] P. Linardatos, V. Papastefanopoulos, and S. Kotsiantis, "Explainable AI: A Review of Machine Learning Interpretability Methods," *Entropy*, vol. 23, no. 1, p. 18, Dec. 2020, doi: 10.3390/e23010018.
- [17] F. Seyedmomeni and M. A. Keyvanrad, "Explaining What Machines See: XAI Strategies in Deep Object Detection Models".
- [18] A. Mastroianni and S. D. Sager-Müller, "Validation of ML Models from the Field of XAI for Computer Vision in Autonomous Driving".
- [19] "XAI in Action: Real-World Use Cases for Explainable AI in Finance and Healthcare | UlapX." Accessed: Nov. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.ulapx.ai/resources/xai-in-action-real-world-use-cases-finance-healthcare>
- [20] A. Nafi, S. Avivi, B. Kuswandi, and A. Rohman, "E-nose for halal food authentication: a review," *Food Res.*, vol. 9, no. 3, pp. 235–244, June 2025, doi: 10.26656/fr.2017.9(3).061.
- [21] A. M. Fathima, L. Rahmawati, A. Windarsih, and Suratno, "Advanced Halal Authentication Methods and Technology for Addressing Non-Compliance Concerns in Halal Meat and Meat Products Supply Chain: A Review," *Food Sci. Anim. Resour.*, vol. 44, no. 6, pp. 1195–1212, Nov. 2024, doi: 10.5851/kosfa.2024.e75.
- [22] N. Yusop et al., "Recent Integrating Machine Learning and Malay-Arabic Lexical Mapping for Halal Food Classification," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 16, no. 10, 2025.
- [23] M. Nagayi, A. Khan, T. Frank, R. Swart, and C. Nyirenda, "Evaluating OCR performance on food packaging labels in South Africa," Oct. 03, 2025, arXiv: arXiv:2510.03570. doi: 10.48550/arXiv.2510.03570.
- [24] I. Iswahyudi, D. Hindarto, and H. Santoso, "PyTorch Deep Learning for Food Image Classification with Food Dataset," *sinkron*, vol. 8, no. 4, pp. 2651–2661, Oct. 2023, doi: 10.33395/sinkron.v8i4.12987.

- [25] D. R. Ramdania et al., "Convolutional Neural Network for Halal Detection of Korean Cosmetic Composition," in 2022 8th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Yogyakarta, Indonesia: IEEE, July 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICWT55831.2022.9935484.
- [26] D. D. Aboyomi and C. Daniel, "A Comparative Analysis of Modern Object Detection Algorithms: YOLO vs. SSD vs. Faster R-CNN," ITEJ Inf. Technol. Eng. J., vol. 8, no. 2, pp. 96–106, Dec. 2023, doi: 10.24235/itej.v8i2.123.
- [27] "Comparing YOLOv8, SSD, and Faster-RCNN for Real-Time Object Detection." Accessed: Nov. 22, 2025. [Online]. Available: <https://app.readytensor.ai/publications/comparing-yolov8-ssd-and-fasterrcnn-for-realttime-object-detection-IbA4gAvuaYW8>
- [28] S. M. Alkentar, B. Alsahwa, A. Assalem, and D. Karakolla, "Practical comparison of the accuracy and speed of YOLO, SSD and Faster RCNN for drone detection," J. Eng., vol. 27, no. 8, pp. 19–31, Aug. 2021, doi: 10.31026/j.eng.2021.08.02.
- [29] C. Lioma, J. G. Simonsen, and B. Larsen, "Evaluation Measures for Relevance and Credibility in Ranked Lists," Aug. 23, 2017, arXiv: arXiv:1708.07157. doi: 10.48550/arXiv.1708.07157.
- [30] A. Aydın, A. Arslan, and B. T. Dinçer, "A set of novel HTML document quality features for Web information retrieval: Including applications to learning to rank for information retrieval," Expert Syst. Appl., vol. 246, p. 123177, July 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2024.123177.
- [31] P. A. Sari and A. Razi, "IMPLEMENTASI ALGORITMA LEXICAL CHAIN UNTUK APLIKASI PENCARIAN JURNAL SINTA BERBASIS WEB".
- [32] D. Gita Purnama, D. R. Mahendra Djuanda, and N. Albart, "Pengembangan Aplikasi Pencarian Artikel Ilmiah Berbasis Mobile," Technomedia J., vol. 8, no. 2SP, pp. 135–150, June 2023, doi: 10.33050/tmj.v8i2SP.2010.
- [33] E. Wibowo and I. Pratama, "Analisis Sentimen Terhadap Ulasan Hotel Melalui Platform Google Review Menggunakan Metode Stacking," J. Teknol. Dan Sist. Inf. Bisnis, vol. 6, no. 4, pp. 774–784, Oct. 2024, doi: 10.47233/jteksis.v6i4.1475.