

**SISTEM DETEKSI KEHALALAN PRODUK MAKANAN
KEMASAN BERBASIS XAI DENGAN INTEGRASI
VISION MODEL DAN WEB-RETRIEVAL**



Disusun Oleh:

N a m a : Muhammad Daffa Raihan
NIM : 22523184

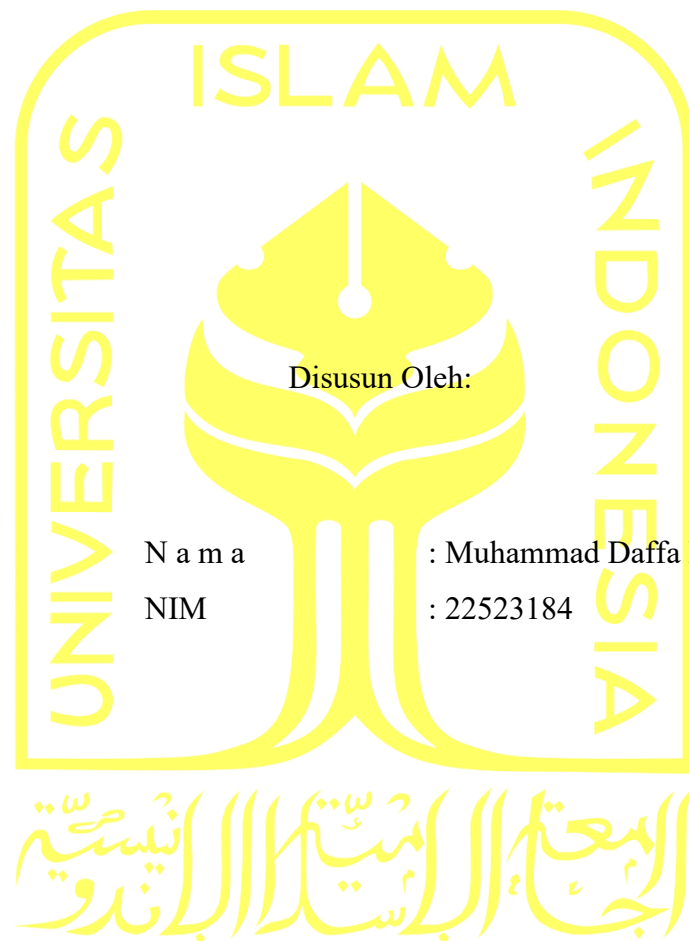
**PROGRAM STUDI INFORMATIKA – PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2026

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**SISTEM DETEKSI KEHALALAN PRODUK MAKANAN
KEMASAN BERBASIS XAI DENGAN INTEGRASI
VISION MODEL DAN WEB-RETRIEVAL**

TUGAS AKHIR



Yogyakarta, 23 Desember 2025

Pembimbing,

(Dr. Syarif Hidayat, S.Kom., M.I.T.)

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**SISTEM DETEKSI KEHALALAN PRODUK MAKANAN
KEMASAN BERBASIS XAI DENGAN INTEGRASI
VISION MODEL DAN WEB-RETRIEVAL**

TUGAS AKHIR

Telah dipertahankan di depan sidang pengujian sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer dari Program Studi Informatika – Program Sarjana di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 14 Januari 2026

Tim Penguji

Dr. Syarif Hidayat, S.Kom., M.I.T.

Anggota 1

Arrie Kurniawardhani, S.Si., M.Kom.

Anggota 2

Erika Ramadhani, S.T., M.Eng.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Informatika – Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



(Ir. Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D.)

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Daffa Raihan

NIM : 22523184

Tugas akhir dengan judul:

SISTEM DETEKSI KEHALALAN PRODUK MAKANAN KEMASAN BERBASIS XAI DENGAN INTEGRASI VISION MODEL DAN WEB-RETRIEVAL

Menyatakan bahwa seluruh komponen dan isi dalam tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, tugas akhir yang diajukan sebagai hasil karya sendiri ini siap ditarik kembali dan siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun.

Demikian surat pernyataan ini dibuat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 23 Desember 2025



(Muhammad Daffa Raihan)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil ‘Ālamīn, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhānahu wa Ta‘ālā atas limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Karya ini penulis persembahkan dengan penuh rasa hormat, cinta, dan syukur kepada kedua orang tua tercinta, Bapak dr. H. Syaifullah, MM dan Ibu Hj. Saudah, S.Psi., Psikolog, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, nasihat penuh kesabaran, serta dukungan moral dan material tanpa henti; kepada adik yang penulis banggakan, Putri Namira Najwa, atas semangat dan kebahagiaan yang selalu menguatkan; serta kepada seluruh keluarga besar yang senantiasa hadir memberikan dukungan dan pengorbanan, yang menjadi kekuatan utama bagi penulis dalam menempuh dan menyelesaikan proses studi ini.

Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam mendukung kemudahan dan transparansi verifikasi kehalalan produk bagi masyarakat, serta menjadi amal kebaikan yang bernilai di sisi Allah Subhānahu wa Ta‘ālā.

HALAMAN MOTO

“The only way to do great work is to love what you do.”

Steve Jobs

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil 'ālamīn, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhānahu wa Ta'ālā atas limpahan nikmat, rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Ṣallallāhu 'Alaihi Wasallam, suri teladan bagi seluruh umat manusia.

Tugas akhir ini berjudul “Sistem Deteksi Kehalalan Produk Makanan Kemasan Berbasis XAI dengan Integrasi Vision Model dan Web-Retrieval”, yang disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Sarjana (S-1) pada Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari berbagai tantangan, khususnya dalam merancang dan mengevaluasi sistem verifikasi kehalalan yang bersifat multimodal, transparan, serta relevan dengan kebutuhan konsumen di dunia nyata. Tantangan tersebut mencakup kompleksitas informasi kemasan multibahasa, keterbatasan data publik, serta kebutuhan akan sistem yang tidak hanya akurat tetapi juga dapat dijelaskan secara bertanggung jawab. Namun, berkat dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak, seluruh proses penelitian ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya.

Dengan penuh rasa hormat dan rasa syukur, penulis menyampaikan terima kasih dan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak dr. H. Syaifullah, MM dan Ibu Saudah, S.Psi., Psikolog, serta adik tercinta, Putri Namira Najwa, yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral maupun material, serta semangat, keyakinan, dan kesabaran yang menjadi kekuatan utama penulis dalam menyelesaikan studi ini.
2. Prof. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Informatika Program Sarjana, atas arahan dan kontribusinya dalam pengembangan akademik di lingkungan Program Studi Informatika.
4. Bapak Dr. Syarif Hidayat, S.Kom., M.I.T., selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga sejak tahap perumusan ide, pelaksanaan penelitian, hingga penyusunan laporan tugas akhir ini.

5. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Informatika Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ilmu pengetahuan, wawasan, serta pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
6. Rekan-rekan dan sahabat, khususnya Sekar Aroem Kedathon, Asvara & Co (Elang Samudra Bintang dan Alfath Rizanatul Ikhsan), serta M. Zakie Irdana, yang telah memberikan dukungan, motivasi, serta menciptakan lingkungan yang positif selama proses penyelesaian penelitian ini.

Yogyakarta, 23 Desember 2025



(Muhammad Daffa Raihan)

SARI

Pasar makanan halal global mencapai USD 2,71 triliun pada tahun 2024 dengan proyeksi USD 5,91 triliun pada tahun 2033. Namun, banyak konsumen Muslim masih mengalami kesulitan dalam memverifikasi kehalalan produk akibat kompleksitas informasi pada kemasan, seperti penggunaan istilah teknis yang ambigu, label multibahasa, serta keterbatasan pemahaman terhadap kode dan istilah bahan pangan.

Penelitian ini mengembangkan sistem verifikasi kehalalan berbasis Explainable Artificial Intelligence (XAI) yang mengintegrasikan GPT-5, Optical Character Recognition (OCR), dan web-retrieval melalui SERP API. Sistem menganalisis citra kemasan secara zero-shot untuk mengekstraksi komposisi bahan, memproses istilah teknis dan bahasa asing, serta memverifikasi status halal, haram, atau syubhat dengan penjelasan transparan berbasis natural language.

Evaluasi dilakukan terhadap 100 produk makanan kemasan yang diklasifikasikan ke dalam empat kategori berdasarkan kejelasan dan indikasi bahan. Kinerja sistem diukur menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, spesifisitas, serta analisis kesalahan.

Hasil evaluasi menunjukkan akurasi sebesar 93%, recall 100%, presisi 87,72%, dan spesifisitas 86%, tanpa kesalahan False Negative. Kesalahan False Positive terutama disebabkan oleh keterbatasan informasi web dan ambiguitas istilah bahan. Waktu eksekusi rata-rata 97 detik per produk masih dapat diterima untuk verifikasi non-real-time.

Sistem berbasis XAI ini bisa digunakan untuk membantu pengambilan keputusan mengenai halal/haram dari suatu produk. Namun demikian, sistem berfungsi sebagai alat bantu informasi dan tidak menggantikan peran lembaga sertifikasi halal resmi.

Kata kunci: verifikasi halal, explainable artificial intelligence, computer vision, web information retrieval, zero-shot recognition

GLOSARIUM

Akurasi	Persentase prediksi sistem yang benar terhadap seluruh data uji.
XAI	Pendekatan AI yang menyediakan penjelasan transparan atas keputusan yang dihasilkan sistem.
False Negative	Produk halal yang salah diklasifikasikan sebagai haram.
False Positive	Produk haram yang salah diklasifikasikan sebagai halal.
GPT-5	Model kecerdasan buatan multimodal yang digunakan untuk analisis visual, reasoning, dan penjelasan kehalalan.
Halal	Produk yang diperbolehkan dikonsumsi menurut hukum Islam.
Haram	Produk yang dilarang dikonsumsi menurut hukum Islam.
OCR	Teknologi untuk mengekstraksi teks dari citra kemasan produk.
Presisi	Kemampuan sistem dalam memastikan bahwa produk yang diprediksi halal benar-benar halal.
Recall	Kemampuan sistem dalam mendeteksi seluruh produk halal yang ada.
Spesifisitas	Kemampuan sistem dalam mengidentifikasi produk haram secara benar.
Vision Model	Model AI yang digunakan untuk memahami dan menganalisis citra kemasan produk
Web-Retrieval	Proses pencarian informasi daring untuk mendukung verifikasi bahan dan produk.OCR Teknologi untuk mengekstraksi teks dari citra kemasan produk.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SARI	ix
GLOSARIUM	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Penelitian	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
2.1 Explainable Artificial Intelligence (XAI)	9
2.1.1 Definisi dan Ruang Lingkup XAI	10
2.1.2 Klasifikasi Explainable AI	10
2.1.3 Metode XAI Relevan untuk Penelitian	16
2.1.4 Tantangan Implementasi XAI	19
2.1.5 XAI dalam Perspektif Regulasi, Etika, dan Kepercayaan Publik	19
2.1.6 Relevansi XAI untuk Sistem Verifikasi Kehalalan.....	20
2.2 Halal Application	22
2.2.1 Laboratory-Based Halal Authentication (Brief Overview).....	23
2.2.2 Consumer-Facing Halal Verification Text and Language-Based Approaches.....	23
2.2.3 Halal Detection Berbasis Computer Vision pada Produk Kemasan	24
2.2.4 Existing Halal Verification Applications	26

2.2.5	Gap Analysis: Apa yang Sudah Ada dan Apa yang Masih Hilang.....	27
2.2.6	Relevansi Literatur Terhadap Penelitian Ini	28
2.3	System Detection	29
2.3.1	Vision-Based Logo Recognition.....	30
2.3.2	OCR-Based Text Extraction	33
2.3.3	Ingredient Classification	33
2.3.4	Gap Analysis	34
2.3.5	Relevansi Literatur terhadap Penelitian Ini.....	34
2.4	Web-Retrieval untuk Verifikasi Bahan Pangan	34
2.4.1	Peran Web-Retrieval dalam Verifikasi Bahan Pangan	35
2.4.2	Relevance & Credibility Filtering dalam Proses Pencarian.....	36
2.4.3	Kualitas Dokumen Web sebagai Indikator Keandalan	36
2.4.4	Semantic Retrieval untuk Memahami Istilah Bahan.....	37
2.4.5	Implementasi Web-Retrieval dalam Sistem Nyata	38
2.4.6	Keterbatasan Literatur dan Gap Penelitian	40
2.4.7	Relevansi terhadap Penelitian Ini.....	41
2.5	Positioning Penelitian dan Sintesis Literatur	42
2.5.1	Sintesis Lintas Domain	42
2.5.2	Gap Fundamental yang Teridentifikasi.....	44
2.5.3	Kontribusi Penelitian.....	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		47
3.1	Desain Penelitian.....	47
3.2	Arsitektur Sistem.....	48
3.2.1	Modul Vision	48
3.2.2	Modul Parsing dan Normalisasi	49
3.2.3	Modul Web-Retrieval (SERP API).....	49
3.2.4	Modul Knowledge-Grounded Reasoning	49
3.2.5	Modul Explainable AI (XAI).....	50
3.2.6	Alur Kerja Sistem (End-to-End Flow)	51
3.2.7	Antarmuka Pengguna dan Implementasi Mobile.....	56
3.3	Dataset.....	59
3.3.1	Variasi Kondisi Gambar.....	60
3.3.2	Struktur Kategori Bahan Kritis	60
3.3.3	Relevansi Dataset terhadap Evaluasi Sistem	60

3.4	Validasi Ground Truth	61
3.4.1	Verifikasi Keaslian Logo Halal.....	61
3.4.2	Pemeriksaan Komposisi Bahan.....	62
3.4.3	Validasi Silang ke Database Halal Resmi.....	62
3.4.4	Justifikasi Metodologis	63
3.5	Persiapan Data.....	63
3.5.1	Validasi dan Encoding Gambar	64
3.5.2	Persiapan Data untuk Input Gambar Tunggal.....	64
3.5.3	Normalisasi Teks dan Pembentukan Query Web	65
3.6	Prosedur Pengujian	66
3.6.1	Pengujian End-to-End	66
3.6.2	Evaluasi Berdasarkan Kategori	68
3.6.3	Evaluasi Waktu Respons.....	69
3.6.4	Analisis Kesalahan	71
3.6.5	Dokumentasi Pengujian	72
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		74
4.1	Hasil Penelitian	74
4.1.1	Hasil Implementasi Aplikasi Mobile	74
4.1.2	Hasil Evaluasi Performa Global Sistem.....	80
4.1.3	Hasil Evaluasi Performa Berdasarkan Kategori Produk	82
4.1.4	Hasil Analisis Kesalahan Sistem.....	82
4.1.5	Hasil Evaluasi Waktu Eksekusi	85
4.2	Pembahasan.....	86
4.2.1	Analisis Performa Global Sistem.....	86
4.2.2	Analisis Performa Berdasarkan Kategori.....	87
4.2.3	Analisis Akar Penyebab Kesalahan	88
4.2.4	Analisis Efisiensi Waktu Eksekusi	90
4.2.5	Sintesis Temuan dan Implikasi	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		94
5.1	Kesimpulan	94
5.1.1	Keberhasilan Pengembangan Sistem Terintegrasi.....	95
5.1.2	Performa Tinggi dalam Deteksi Produk Halal	95
5.1.3	Efektivitas Deteksi Produk Haram dengan Tantangan Spesifik	95
5.1.4	Kontribusi Explainable AI terhadap Transparansi dan Kepercayaan	95

5.1.5	Kelayakan Implementasi untuk Penggunaan Praktis	96
5.1.6	Batasan Fundamental Sistem	96
5.2	Saran.....	96
5.2.1	Saran Teknis.....	96
5.2.2	Saran Metodologis	97
5.2.3	Saran Implementasi Praktis.....	98
	DAFTAR PUSTAKA	100
	LAMPIRAN	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 XAI Tradisional vs XAI & LLM.....	18
Tabel 2.2 Tantangan Utama dari Literasi Terdahulu.....	19
Tabel 2.3 Gap Analysis Penelitian.....	27
Tabel 2.4 Sintesis Lintas Domain.....	43
Tabel 4.1 Confusion Matrix.....	81
Tabel 4.2 Ringkasan Metrik.....	81
Tabel 4.3 Evaluasi Performa Berdasarkan Kategori.....	82
Tabel 4.4 Ringkasan 7 Kasus False Positive.....	83
Tabel 5.1 Pencapaian Tujuan Penelitian.....	94

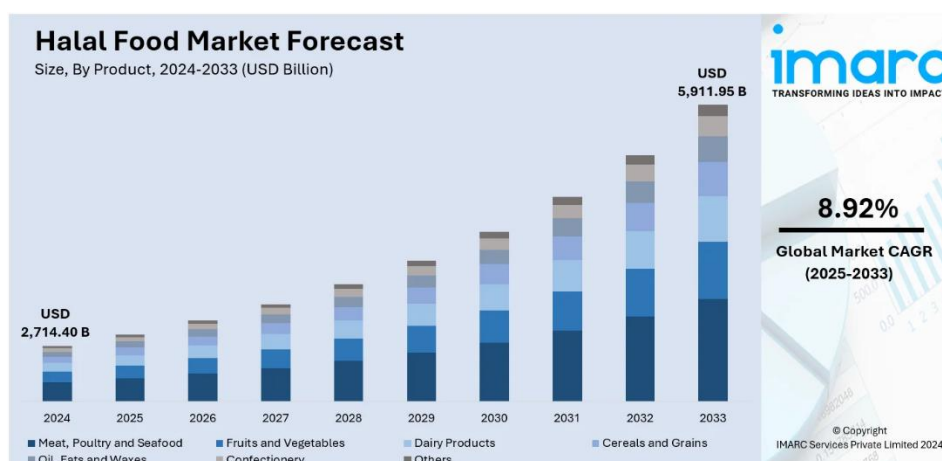
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Halal Food Market Forecast.....	1
Gambar 3.1 Arsitektur Sistem.....	48
Gambar 3.2 Pipeline Flow end-to-end	53
Gambar 3.3 Pseudocode Logika flow pipeline	56
Gambar 3.4 Usecase diagram aplikasi	59
Gambar 4.1 Halaman Login dan Register.....	75
Gambar 4.2 Halaman Beranda	76
Gambar 4.3 Halaman Pencarian Restoran	76
Gambar 4.4 Halaman AI Assistant	76
Gambar 4.5 Halaman Bookmark	76
Gambar 4.6 Halaman Scanner	77
Gambar 4.7 Halaman Proses Analisis Produk	78
Gambar 4.8 Tampilan 1 Hasil Verifikasi	79
Gambar 4.9 Tampilan 2 Hasil Verifikasi	79
Gambar 4.10 Tampilan Riwayat Scan Snack	80
Gambar 4.11 False Positive Kategori 3: Pringles Smokey Bacon Flavour	84
Gambar 4.12 False Positive Kategori 4: Tokyo Banana dengan Ikon Halal Tidak Sah.....	85
Gambar 4.13 Visualisasi Hasil Evaluasi Waktu Eksekusi.....	85

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri makanan kemasan di berbagai negara membuat konsumen semakin bergantung pada informasi label untuk memastikan keamanan dan kesesuaian dengan kebutuhan pribadi, termasuk aspek kehalalan. Pasar makanan halal global mencapai nilai USD 2,71 triliun pada tahun 2024 dan diproyeksikan tumbuh mencapai USD 5,91 triliun pada tahun 2033 dengan tingkat pertumbuhan tahunan (CAGR) sebesar 8,92% (“Halal Food Market Size | Industry Statistics, Trends - 2033,” n.d.). Dengan populasi Muslim global yang mencapai lebih dari 1,6 miliar jiwa dan terus bertambah, permintaan terhadap produk halal tidak hanya datang dari konsumen Muslim tetapi juga dari konsumen non-Muslim yang mencari produk dengan standar kebersihan dan etika produksi yang tinggi (Espinosa, n.d.).



Gambar 1.1 Halal Food Market Forecast

Sumber:(“Halal Food Market Size | Industry Statistics, Trends - 2033,” n.d.)

Namun, proses verifikasi kehalalan suatu produk menghadapi dua tantangan fundamental: akurasi identifikasi dan transparansi informasi. Informasi pada kemasan sering kali memuat istilah teknis, kode aditif seperti E-numbers, atau nama ilmiah bahan tertentu yang sulit diverifikasi kebenarannya oleh masyarakat umum. Misalnya, kode seperti E471 (mono- dan digliserida) dapat berasal dari sumber nabati yang halal atau lemak hewani yang berpotensi haram, namun konsumen tidak memiliki cara untuk memastikannya secara akurat (Islamic Services of America, n.d.-b) (Islamic Services of America, n.d.-a). Lebih jauh lagi, meskipun

konsumen berhasil menemukan informasi tambahan melalui pencarian manual, mereka sering kali tidak mendapatkan penjelasan yang jelas tentang mengapa suatu bahan dianggap halal atau haram, dan dari sumber mana informasi tersebut berasal. Ketiadaan mekanisme verifikasi yang akurat dan transparan ini membuat konsumen rentan terhadap kesalahan dalam memilih produk, baik karena mengonsumsi produk yang tidak sesuai keyakinan, maupun menghindari produk halal karena ketidakpastian informasi.

Tantangan akurasi verifikasi ini diperparah oleh ketiadaan standar visual logo halal yang seragam di seluruh dunia. Terdapat lebih dari 100 logo halal berbeda, masing-masing dikeluarkan oleh lembaga nasional yang berbeda (Gateway, n.d.). Di Malaysia, logo halal dikeluarkan oleh JAKIM dengan desain yang mencerminkan identitas nasional, sementara di Indonesia logo halal BPJPH berbentuk wayang dengan warna ungu, di Singapura menggunakan logo MUIS dengan latar bumi, dan di Amerika Serikat terdapat puluhan lembaga sertifikasi berbeda seperti IFANCA dan ISA yang masing-masing memiliki logo tersendiri (sucofindo, 2024). Variasi ini membuat konsumen tidak hanya kesulitan mengidentifikasi, tetapi juga rentan terhadap kesalahan dalam menilai status kehalalan produk. Konsumen dapat salah mengabaikan produk yang sebenarnya tersertifikasi halal karena tidak mengenali logonya, atau sebaliknya, mempercayai logo yang tidak sah. Keragaman logo halal ini menciptakan konsekuensi yang lebih serius, terutama bagi konsumen yang bepergian lintas negara dan harus menghadapi sistem sertifikasi yang tidak familiar tanpa kemampuan untuk memverifikasi keaslian logo secara mandiri.

Dampak dari hambatan verifikasi ini sangat terasa pada segmen wisatawan Muslim yang terus berkembang. Jumlah wisatawan Muslim secara global mencapai 176 juta orang pada tahun 2024 dan diproyeksikan meningkat menjadi 245 juta pada tahun 2030. Kelompok ini diperkirakan menyumbang pengeluaran sebesar USD 230 miliar, sehingga kebutuhan akan verifikasi halal yang mudah dan cepat menjadi semakin penting (“Mastercard-CrescentRating Global Muslim Travel Index Reveals Trends Shaping the Future of Halal Travel,” n.d.). Bagi wisatawan Muslim, keragaman logo halal menciptakan ketidakpastian dan menurunkan tingkat kepercayaan terhadap produk asing. Perbedaan standar visual antarnegara tidak hanya berdampak pada kenyamanan konsumen, tetapi juga menciptakan hambatan ekonomi bagi produsen halal yang ingin mengakses pasar global.

Di luar tantangan visual logo, hambatan bahasa juga menjadi tantangan kritis dalam verifikasi kehalalan. Label produk biasanya hanya menggunakan bahasa lokal, dan tidak semua produsen menyediakan terjemahan. Ketika konsumen tidak memahami bahasa tersebut,

mereka kesulitan mengenali bahan sensitif seperti derivatif babi atau alkohol. Sebagai contoh, konsumen Indonesia yang berkunjung ke Thailand atau China sering kesulitan mengidentifikasi kata "pork" atau "lard" dalam bahasa lokal. Studi menunjukkan bahwa hambatan bahasa dan perbedaan budaya dapat menyebabkan miskomunikasi tentang persyaratan halal dan mengakibatkan kontaminasi yang tidak disengaja (Islamic Services of America, n.d.-a). Penelitian juga mengungkapkan bahwa kesalahan terjemahan dapat salah merepresentasikan pesan merek dan menyebabkan persepsi negatif konsumen, sehingga investasi dalam layanan terjemahan profesional sangat penting (Yusop, Kamalrudin, Mocketar, & Mustafa, 2025). Situasi ini diperparah oleh keterbatasan akses konsumen terhadap database bahan makanan global yang dapat memberikan informasi terverifikasi dalam bahasa yang mereka pahami. Akibatnya, banyak konsumen Muslim yang akhirnya menghindari produk tertentu, bukan karena produknya haram, tetapi karena mereka tidak mampu mengakses informasi yang akurat dan dapat dipercaya tentang kandungannya. Survei IFANCA (2022) menunjukkan bahwa 72% konsumen yang secara teratur mengonsumsi produk bersertifikat halal melaporkan menghadapi kesulitan saat berbelanja produk halal, terutama di negara non-Muslim mayoritas (DeGuide, 2022).

Menghadapi kesulitan tersebut, konsumen Muslim saat ini biasanya mengandalkan berbagai solusi yang tersedia, baik manual maupun digital, namun keduanya masih memiliki keterbatasan signifikan. Solusi manual mencakup penggunaan database halal, pencarian di internet, atau bertanya ke komunitas Muslim lokal melalui forum media sosial ("Travelling Abroad, Here's An Easy Way To Recognize Halal Products | Lembaga Pemeriksa Halal (LPH) LPPOM Sertifikasi Halal," 2025). Namun, pendekatan-pendekatan ini sering kali tidak praktis karena database halal tidak selalu lengkap, jarang diperbarui, dan umumnya terbatas pada produk dari negara tertentu. Pencarian manual memakan waktu, sedangkan bantuan komunitas online tidak selalu akurat atau dapat diverifikasi. Bahkan solusi digital yang lebih modern seperti aplikasi verifikasi halal yaitu Halal AI, Halal Scanner, dan Taste Halal juga masih memiliki keterbatasan dalam konteks penggunaan dunia nyata. Sebagian besar aplikasi hanya dapat bekerja apabila pengguna memindai barcode atau mengambil gambar daftar bahan dengan jelas, sehingga tidak mampu menganalisis kemasan dari tampilan depan produk. Aplikasi-aplikasi tersebut juga belum memiliki kemampuan mendeteksi logo halal dari berbagai negara, tidak mampu mengidentifikasi logo palsu atau tidak sah, serta belum mendukung verifikasi bahan berbasis penelusuran informasi daring yang dapat dipertanggungjawabkan. Yang lebih krusial, aplikasi-aplikasi ini hanya memberikan hasil

verifikasi tanpa menjelaskan dasar keputusan atau sumber rujukan yang digunakan. Ketidakhadiran mekanisme penjelasan yang transparan membuat konsumen tidak dapat memahami mengapa suatu produk dianggap halal atau haram, sehingga sulit membangun kepercayaan terhadap hasil verifikasi. Meskipun beberapa negara telah mengembangkan platform digital untuk sertifikasi halal, sebagian besar platform digital halal bersifat lokal dan belum terintegrasi secara global (Yusop et al., 2025).

Keterbatasan solusi existing baik manual maupun digital menunjukkan perlunya sistem yang mampu melakukan verifikasi halal secara akurat, komprehensif, dan transparan dalam konteks lintas negara. Kemajuan teknologi kecerdasan buatan, khususnya di bidang computer vision, web information retrieval, dan explainable artificial intelligence (XAI), membuka peluang besar untuk menghadirkan solusi yang mampu membaca kemasan produk melalui gambar, menelusuri informasi bahan secara otomatis, serta memberikan penjelasan yang dapat dipertanggungjawabkan kepada pengguna.

Computer vision dengan teknik deep learning memungkinkan sistem untuk secara otomatis mengenali dan membaca teks pada kemasan produk, mengidentifikasi logo halal dari berbagai negara dengan akurasi tinggi termasuk membedakan logo resmi dari logo palsu dan mengekstrak informasi komposisi bahan tanpa terpengaruh oleh perbedaan bahasa atau format label. Teknologi ini mengatasi keterbatasan verifikasi manual yang rentan terhadap kesalahan identifikasi, terutama dalam konteks logo multinegara yang memiliki variasi desain signifikan.

Web information retrieval dapat mengakses dan mengintegrasikan database bahan makanan global secara real-time, memverifikasi status kehalalan berbagai E-numbers dan aditif makanan dari sumber resmi dan terverifikasi, serta menyediakan informasi terkini tentang standar sertifikasi halal dari berbagai negara. Pendekatan ini mengatasi keterbatasan database manual yang statis dan terbatas geografis, memungkinkan verifikasi yang lebih akurat berdasarkan informasi terkini dari multiple authoritative sources.

Explainable AI (XAI) memastikan bahwa setiap keputusan verifikasi dapat dijelaskan secara transparan kepada pengguna, tidak hanya memberikan hasil "halal" atau "haram", tetapi juga menjelaskan dasar reasoning, sumber rujukan yang digunakan, dan level confidence dari verifikasi tersebut. Transparansi ini sangat krusial dalam konteks kehalalan di mana konsumen memerlukan kepastian yang dapat dipertanggungjawabkan, bukan sekadar hasil otomatis tanpa justifikasi. XAI memungkinkan konsumen memahami mengapa suatu bahan dianggap halal atau haram, dari mana informasi tersebut berasal, dan seberapa reliable verifikasi tersebut membangun kepercayaan yang menjadi fondasi keputusan konsumsi halal.

Dengan pendekatan ini, proses verifikasi tidak lagi bergantung pada kemampuan bahasa atau pengetahuan individu terhadap istilah bahan makanan, dan dapat beradaptasi dengan lingkungan global sambil menyediakan justifikasi yang dapat diaudit untuk setiap keputusan.

Integrasi teknologi computer vision untuk deteksi akurat, web information retrieval untuk verifikasi komprehensif, dan explainable AI untuk transparansi keputusan sangat relevan mengingat proyeksi pasar wisatawan Muslim yang mencapai USD 230 miliar pada tahun 2030, serta kebutuhan konsumen Muslim di negara non-mayoritas Muslim yang menghadapi kesulitan akses terhadap produk halal. Transparansi yang ditawarkan oleh teknologi XAI juga menjawab kebutuhan akan kepercayaan konsumen yang menjadi isu sentral dalam industri halal, sebagaimana ditunjukkan oleh survei IFANCA bahwa 82% Muslim di UK lebih memilih produk dengan sertifikasi halal yang jelas untuk menghindari ambiguitas (Adnan, 2025). Solusi ini tidak hanya mengatasi hambatan teknis dalam verifikasi kehalalan, tetapi juga membangun ekosistem yang lebih inklusif dan dapat dipercaya bagi konsumen Muslim global.’

Penelitian ini menggunakan GPT-5 Vision sebagai backbone teknologi multimodal untuk integrasi analisis visual dan penalaran berbasis bahasa natural. Pemilihan GPT-5 didasarkan pada tiga karakteristik yang relevan dengan kebutuhan penelitian: (1) kemampuan visual understanding untuk membaca teks dan mengenali elemen visual pada kemasan, (2) pendekatan zero-shot yang mengurangi dependensi pada dataset training berlabel besar sebuah kebutuhan yang sulit dipenuhi mengingat tidak adanya dataset logo halal multinegara yang komprehensif, dan (3) kemampuan intrinsic explainability melalui output tekstual terstruktur yang esensial untuk implementasi XAI (Wang, Hu, Li, Safari, & Yang, 2025).

Dengan pendekatan ini, proses verifikasi tidak lagi bergantung pada kemampuan bahasa atau pengetahuan individu terhadap istilah bahan makanan, dan dapat beradaptasi dengan lingkungan global sambil menyediakan justifikasi yang dapat diaudit untuk setiap keputusan.

Berdasarkan uraian di atas, tantangan verifikasi kehalalan mencakup tiga aspek kritis: kompleksitas informasi kemasan (istilah teknis, logo multinegara, hambatan bahasa), keterbatasan solusi existing yang tidak komprehensif, dan kebutuhan transparansi dalam keputusan verifikasi. Teknologi kecerdasan buatan menawarkan solusi yang relevan untuk mengatasi tantangan tersebut. Computer vision mampu mendeteksi objek kompleks dan mengekstraksi teks multilingual, menjawab kebutuhan deteksi logo multinegara dan pembacaan komposisi bahan. Web information retrieval memungkinkan akses real-time ke database global, mengatasi keterbatasan solusi manual yang statis dan terbatas geografis. Explainable AI (XAI) menyediakan mekanisme transparansi keputusan yang membangun

kepercayaan konsumen. Integrasi ketiga teknologi ini membentuk pendekatan holistik yang belum diterapkan dalam konteks verifikasi kehalalan. Penelitian terdahulu umumnya hanya berfokus pada satu aspek deteksi logo, database halal atau OCR untuk label makanan tanpa mengintegrasikan kemampuan deteksi akurat, verifikasi real-time, dan penjelasan transparan dalam satu sistem terpadu. Lebih fundamental lagi, belum ada penelitian yang menerapkan explainable AI untuk membangun kepercayaan konsumen dalam verifikasi kehalalan, meskipun transparansi penjelasan merupakan kebutuhan kritis dalam keputusan yang bersifat religius dan personal. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem verifikasi kehalalan terintegrasi berbasis computer vision, web information retrieval, dan explainable AI untuk menjawab kebutuhan konsumen Muslim global, khususnya menghadapi proyeksi 245 juta wisatawan Muslim pada tahun 2030.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, permasalahan utama penelitian ini adalah belum tersedianya sistem terpadu yang mengintegrasikan computer vision, web information retrieval, dan explainable AI untuk verifikasi kehalalan produk makanan kemasan secara otomatis, akurat, dan transparan dalam konteks konsumen Muslim lintas negara

1.3 Tujuan Penelitian

Guna mengatasi kesenjangan yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Mengembangkan modul computer vision yang mampu mendeteksi dan mengklasifikasi logo halal dari berbagai lembaga sertifikasi internasional (JAKIM, BPJPH, MUIS, IFANCA, HFA, dan lainnya) serta mengekstraksi informasi komposisi bahan secara otomatis dari kemasan produk makanan menggunakan teknologi optical character recognition (OCR), sehingga mengatasi hambatan identifikasi visual dan bahasa yang dihadapi konsumen.
- b. Merancang dan mengimplementasikan mekanisme web information retrieval yang dapat menelusuri, mengumpulkan, dan memverifikasi status kehalalan bahan makanan secara real-time dari berbagai sumber terpercaya, termasuk database lembaga sertifikasi resmi, publikasi ilmiah, dan portal informasi halal terverifikasi, guna menyediakan rujukan yang akurat dan mutakhir bagi sistem verifikasi.
- c. Mengimplementasikan framework explainable AI (XAI) yang memanfaatkan large language model untuk menghasilkan penjelasan keputusan verifikasi yang transparan,

terstruktur, dan mudah dipahami oleh konsumen dengan berbagai latar belakang pengetahuan, sehingga meningkatkan kepercayaan terhadap hasil verifikasi dan memberdayakan konsumen dalam pengambilan keputusan.

- d. Mengintegrasikan ketiga komponen teknologi tersebut computer vision, web information retrieval, dan explainable AI ke dalam sistem terpadu yang dapat diakses melalui platform aplikasi mobile atau web, dengan antarmuka yang intuitif dan mendukung penggunaan lintas negara untuk memfasilitasi verifikasi kehalalan produk makanan kemasan secara praktis dan efisien.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat kepada berbagai pemangku kepentingan:

- a. Bagi konsumen Muslim dan wisatawan sistem menyediakan alat verifikasi kehalalan yang dapat diakses kapan saja melalui smartphone dengan penjelasan transparan, mengatasi hambatan bahasa dan ketidakpahaman logo multinegara, sehingga mengurangi risiko konsumsi produk yang tidak sesuai keyakinan dan meningkatkan kepercayaan diri dalam memilih produk halal terutama di negara non-Muslim mayoritas.
- b. Bagi produsen dan distributor produk halal sistem meningkatkan visibilitas produk bersertifikat halal di pasar global dengan mengurangi hambatan masuk ke pasar internasional, serta memberikan feedback mechanism tentang kejelasan informasi kemasan untuk meningkatkan transparansi dan kepercayaan konsumen.
- c. Bagi lembaga sertifikasi halal sistem meningkatkan awareness konsumen tentang logo halal resmi dari berbagai lembaga, membantu identifikasi potensi penyalahgunaan logo palsu, dan menyediakan platform yang dapat diintegrasikan dengan database resmi untuk menyediakan informasi terverifikasi.
- d. Bagi pengembangan keilmuan penelitian ini berkontribusi pada literatur computer vision untuk deteksi objek dengan variasi visual tinggi, metodologi web information retrieval dengan validasi kredibilitas multi-sumber, dan terutama sebagai penelitian pionir yang menerapkan explainable AI dalam konteks verifikasi kehalalan domain yang memerlukan transparansi tinggi karena berkaitan dengan keputusan religius dan personal.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk memfokuskan ruang lingkup dan memastikan kedalaman analisis, penelitian ini dibatasi pada aspek-aspek berikut:

- a. Sistem hanya menganalisis informasi visual dan tekstual yang tercantum pada kemasan produk serta hasil penelusuran web dari sumber publik, tidak mencakup verifikasi rantai pasok, audit proses produksi, pengujian laboratorium, atau analisis fiqh secara mendalam.
- b. Deteksi logo halal difokuskan pada 10-15 lembaga sertifikasi utama yang memiliki pengakuan internasional (JAKIM, BPJPH, MUIS, IFANCA, HFA, MUI, dan lainnya), sehingga logo dari lembaga regional kecil mungkin tidak terdeteksi.
- c. Ruang lingkup terbatas pada produk makanan dan minuman kemasan dengan label tercetak jelas, tidak mencakup makanan segar tanpa kemasan, produk restoran, suplemen, obat-obatan, atau kosmetik.
- d. Hasil verifikasi bersifat indikatif dan rekomendatif karena ditentukan melalui analisis berbasis kecerdasan buatan (AI) yang mengandalkan pemahaman visual, penalaran model, dan informasi publik dari web. Sistem ini berfungsi sebagai alat bantu pengambilan keputusan (decision support system) dan tidak dimaksudkan untuk menggantikan fatwa keagamaan, ijtihad ulama, maupun keputusan resmi dari otoritas sertifikasi halal yang berwenang.
- e. Kualitas hasil bergantung pada kualitas gambar input dan ketersediaan informasi di sumber publik, serta sistem memerlukan koneksi internet untuk penelusuran web real-time.
- f. Penelitian berfokus pada pengembangan fungsionalitas inti sistem dan belum mencakup implementasi protokol keamanan tingkat produksi seperti enkripsi end-to-end atau compliance dengan standar ISO 27001/GDPR.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Explainable Artificial Intelligence (XAI)

Perkembangan pesat kecerdasan buatan, terutama model deep learning, membawa tantangan baru terkait transparansi dan akuntabilitas sistem. Model modern seperti convolutional neural networks (CNN) dan large language models (LLM) memiliki jutaan parameter yang menghasilkan performa tinggi tetapi bersifat black-box, sehingga mekanisme pengambilan keputusannya sulit dipahami oleh manusia. Kondisi ini menimbulkan risiko serius pada domain sensitif seperti perbankan, kesehatan, keamanan publik, hingga sertifikasi kehalalan pangan. Untuk mengatasi problem tersebut, bidang Explainable Artificial Intelligence (XAI) berkembang sebagai pendekatan yang mengutamakan penjelasan, interpretabilitas, dan transparansi model kecerdasan buatan.

Erico Tjoa (2021) menegaskan bahwa XAI bukan hanya persoalan teknis, melainkan juga terkait konteks sosial dan kebijakan publik, karena sistem berbasis AI semakin banyak mengintervensi proses pengambilan keputusan manusia di sektor publik dan akademik. Ia menyatakan bahwa organisasi yang menggunakan model ML memiliki tanggung jawab untuk memastikan keputusan sistem dapat diaudit, dipahami, dan disupervisi oleh manusia (Tjoa & Guan, 2021). Artikel lain menyebutkan bahwa dalam banyak kasus, kurangnya penjelasan telah terbukti menurunkan kepercayaan pengguna secara signifikan. Sebuah studi dari Science News Today (2025) menunjukkan bahwa sistem yang menyertakan penjelasan dapat meningkatkan kepercayaan pengguna hingga 34% dibandingkan model black-box yang tidak memberikan reasoning apa pun (Tuhin, 2025).

Selain itu, survei McKinsey (2024) yang dikutip dalam laporan Algo (2025) menunjukkan bahwa 40% organisasi global mengidentifikasi kurangnya explainability sebagai salah satu risiko terbesar dalam implementasi AI. Bahkan, adopsi XAI diperkirakan dapat meningkatkan efisiensi operasional perusahaan hingga 30% pada 2025, terutama karena peningkatan keandalan dan kemampuan audit algoritma (“The Rise of Explainable AI (XAI),” n.d.). Data-data ini menegaskan bahwa XAI telah berkembang dari sekadar konsep akademik menjadi kebutuhan strategis dalam tata kelola AI.

2.1.1 Definisi dan Ruang Lingkup XAI

Penelitian Budhkar et al. (2025) dalam bidang bioinformatika menekankan bahwa interpretabilitas terdiri dari tiga dimensi utama: interpretability, transparency, dan explainability. Interpretability berfokus pada sejauh mana model dapat dipahami oleh manusia; transparency mengacu pada keterbukaan mekanisme internal model; dan explainability berkaitan dengan alasan di balik keputusan model. Ketiga aspek ini penting untuk membangun AI yang dapat dipercaya, terutama pada domain ilmiah dan klinis yang membutuhkan dasar penjelasan yang kuat sebelum mengambil keputusan kritis (Budhkar, Song, Su, & Zhang, 2025).

Selaras dengan itu, artikel Tuhin (2025) menyatakan bahwa explainability adalah “moral, legal, and practical imperative,” terutama karena model AI kini membuat keputusan menyangkut akses ke kredit, diagnosis medis, hingga penilaian risiko kriminal. Ia menegaskan bahwa tanpa penjelasan, tidak ada dasar untuk menilai apakah keputusan tersebut adil, tidak bias, atau sesuai etika. Hal ini diperkuat oleh beberapa kasus AI bermasalah di sektor publik, misalnya algoritma penilaian risiko kriminal yang terbukti bias rasial namun tidak dapat diaudit karena bersifat proprietari. Kondisi tersebut memperlihatkan urgensi XAI bagi masyarakat luas (Tuhin, 2025).

2.1.2 Klasifikasi Explainable AI

Walaupun berbagai literatur menawarkan klasifikasi berbeda, pendekatan yang paling konsisten membagi XAI ke dalam empat dimensi utama. Pemahaman terhadap klasifikasi ini penting karena setiap dimensi memiliki implikasi berbeda terhadap cara sistem memberikan penjelasan, kompleksitas implementasi, dan kesesuaian dengan arsitektur model yang digunakan.

Waktu Implementasi

Dimensi ini membedakan metode XAI berdasarkan kapan interpretabilitas diintegrasikan ke dalam model.

- a. Ante-hoc (intrinsically interpretable) mengacu pada model yang dapat dijelaskan sejak awal karena struktur algoritmanya secara inheren transparan. Contohnya meliputi *decision tree*, *linear regression* dan *rule-based systems*. Model-model ini memiliki keunggulan dalam *simplicity* dan *direct interpretability* manusia dapat langsung memahami logika keputusan tanpa memerlukan teknik tambahan. Namun, *trade-off* utamanya adalah

keterbatasan kapasitas representasi untuk pola kompleks, sehingga performa pada data high-dimensional atau non-linear sering kali lebih rendah dibanding model deep learning (Linardatos, Papastefanopoulos, & Kotsiantis, 2020).

- b. Post-hoc explanations, sebaliknya, diterapkan setelah model kompleks selesai dilatih. Teknik-teknik seperti LIME, SHAP, GradCAM, dan surrogate models bekerja dengan menganalisis perilaku model black-box tanpa mengubah arsitektur internalnya. Pendekatan ini memungkinkan penggunaan model *state-of-the-art* dengan performa tinggi sambil tetap menyediakan penjelasan kepada pengguna. Kelemahannya adalah penjelasan yang dihasilkan bersifat approximate dan tidak selalu mencerminkan mekanisme internal model secara akurat fenomena yang dikenal sebagai explanation faithfulness problem (Budhkar et al., 2025; Linardatos et al., 2020).

Dalam konteks penelitian ini, pendekatan ante-hoc (intrinsically interpretable) dipilih karena sistem verifikasi halal memanfaatkan model multimodal GPT-5 yang secara inheren mampu menghasilkan penjelasan melalui reasoning berbasis bahasa natural. Berbeda dengan pendekatan post-hoc yang memerlukan layer interpretasi tambahan seperti GradCAM atau SHAP, GPT-5 dapat langsung mengartikulasikan alasan di balik keputusannya, sehingga menghilangkan explanation faithfulness problem yang sering muncul pada metode post-hoc (Wang et al., 2025).

Cakupan Penjelasan

Dimensi ini membedakan sejauh mana penjelasan mencakup perilaku model.

- a. Global explanations bertujuan memahami perilaku keseluruhan model di semua kemungkinan input. Metode seperti *feature importance aggregation*, *partial dependence plots*, dan *surrogate model training* menghasilkan pemahaman menyeluruh tentang pola keputusan model. Global explanations sangat berguna untuk model *auditing*, *debugging*, dan memahami bias sistemik (Tjoa & Guan, 2021). Namun, penjelasan global sering kali terlalu umum untuk membantu pengguna memahami keputusan spesifik pada satu kasus.
- b. Local explanations, di sisi lain, fokus menjelaskan satu prediksi individual. Teknik seperti LIME dan SHAP values untuk instance tertentu memberikan insight tentang mengapa model menghasilkan output spesifik pada input tertentu. Local explanations lebih actionable bagi pengguna akhir karena menjawab pertanyaan "mengapa produk ini

dideteksi haram?" alih-alih "bagaimana model bekerja secara umum?" (Tjoa & Guan, 2021).

Sistem deteksi kehalalan dalam penelitian ini akan mengimplementasikan kedua jenis penjelasan: global explanations untuk memahami pola deteksi keseluruhan (misalnya, bahan mana yang paling sering mempengaruhi klasifikasi), dan local explanations untuk setiap foto kemasan yang diunggah pengguna, sehingga memberikan justifikasi personal dan spesifik konteks.

Mekanisme Penjelasan

Dimensi ini mengklasifikasikan metode berdasarkan ketergantungannya pada arsitektur model.

- a. Model-agnostic methods dapat diterapkan pada berbagai jenis model machine learning tanpa memerlukan akses ke struktur internal. SHAP dan LIME adalah contoh paling populer. Keunggulan utamanya adalah fleksibilitas satu metode dapat digunakan untuk CNN, RNN, random forest, atau bahkan ensemble models. Metode ini bekerja dengan menganalisis hubungan input-output model secara eksternal, sehingga cocok untuk sistem yang mengintegrasikan multiple models atau ketika source code model tidak tersedia (Budhkar et al., 2025).
- b. Model-specific methods dirancang khusus untuk arsitektur tertentu dan memanfaatkan karakteristik internal model tersebut. GradCAM untuk CNN menggunakan gradient flow melalui convolutional layers untuk mengidentifikasi region of interest dalam gambar. Integrated Gradients untuk deep neural networks memanfaatkan path integration untuk atribusi fitur. Metode model-specific umumnya lebih efisien secara komputasi dan menghasilkan penjelasan yang lebih faithful terhadap mekanisme internal model, namun tidak dapat di-generalisasi ke arsitektur lain (Budhkar et al., 2025).

Penelitian ini mengadopsi pendekatan intrinsic explainability berbasis GPT-5 yang bersifat model-agnostic dalam arti bahwa penjelasan tidak bergantung pada arsitektur internal spesifik, melainkan pada kemampuan reasoning general-purpose model tersebut. Pendekatan ini diperkuat dengan knowledge grounding melalui web-retrieval (SERP API) yang menyediakan bukti eksternal dari sumber kredibel seperti Wikipedia, OpenFoodFacts, dan situs resmi produk (Lioma, Simonsen, & Larsen, 2017). Kombinasi intrinsic explainability dan external grounding

ini memastikan bahwa penjelasan tidak hanya dihasilkan oleh mekanisme reasoning yang sama dengan pengambil keputusan (mengatasi faithfulness problem), tetapi juga didukung oleh bukti verifiable yang dapat diperiksa ulang oleh pengguna.

Bentuk Penjelasan

Dimensi ini mengategorikan output penjelasan berdasarkan representasinya.

- a. Feature importance menunjukkan seberapa besar kontribusi setiap fitur input terhadap prediksi. Bentuk ini paling umum digunakan karena mudah dipahami pengguna dapat melihat ranking atau skor numerik untuk setiap fitur. Contohnya adalah SHAP values yang memberikan contribution score untuk setiap bahan dalam daftar komposisi (Seyedmomeni & Keyvanrad, n.d.).
- b. Gradient-based explanations seperti saliency maps dan GradCAM menggunakan gradien model untuk menghasilkan visualisasi. Metode ini sangat efektif untuk data visual karena menghasilkan heatmap yang intuitif, menunjukkan region mana dalam gambar yang paling mempengaruhi keputusan model.
- c. Rule-based explanations mengekstrak atau mengaproksimasi logika model dalam bentuk if-then rules. Pendekatan ini sangat interpretable namun sering kali over-simplify model kompleks. Rule extraction dari neural networks masih menjadi active research area dengan hasil yang bervariasi (Seyedmomeni & Keyvanrad, n.d.).
- d. Example-based explanations memberikan penjelasan melalui contoh: counterfactuals menunjukkan perubahan minimal input yang akan mengubah prediksi ("jika E471 diganti dengan E472, produk akan halal"), sementara prototypes menunjukkan contoh representatif dari setiap kelas ("produk ini mirip dengan produk haram lain yang memiliki gelatin babi").
- e. Concept-based explanations seperti TCAV (Testing with Concept Activation Vectors) bekerja pada level abstraksi lebih tinggi, menjelaskan model berdasarkan human-understandable concepts alih-alih raw features. Misalnya, alih-alih mengatakan "pixel (120,45) penting," TCAV dapat mengatakan "konsep 'logo halal' penting untuk klasifikasi ini" (Seyedmomeni & Keyvanrad, n.d.).

Untuk sistem verifikasi kehalalan, penelitian ini menggunakan structured natural language explanation yang mencakup lima komponen utama:

- a. Visual Evidence Description – Narasi deskriptif tentang elemen visual yang terdeteksi (setara dengan konsep gradient-based visualization seperti GradCAM, namun dalam bentuk tekstual yang dapat langsung dipahami)
- b. Ingredient-Level Attribution – Penjelasan kontribusi setiap bahan terhadap status produk (konsep serupa dengan feature importance seperti SHAP, namun disampaikan dalam reasoning chain yang koheren)
- c. External Source Citation – Referensi ke sumber web sebagai bukti pendukung (example-based explanation melalui authoritative references)
- d. Reasoning Chain – Alur logika step-by-step dari bukti menuju kesimpulan (concept-based explanation yang menghubungkan konsep halal/haram dengan bukti konkret)
- e. Confidence Assessment – Evaluasi tingkat keyakinan model terhadap Keputusan

Bentuk penjelasan berbasis teks ini dipilih karena higher semantic alignment dengan kebutuhan pengguna Muslim yang memerlukan justifikasi berbasis argumen dan rujukan, bukan sekadar visualisasi numerik atau heatmap (Mastroianni & Sager-Müller, n.d.).

Integrasi Klasifikasi dalam Desain Sistem

Klasifikasi empat dimensi ini menjadi dasar untuk memilih metode XAI yang sesuai tujuan penelitian. Berdasarkan kerangka klasifikasi di atas, sistem verifikasi halal dirancang dengan konfigurasi berikut:

- a. Waktu: Intrinsically Interpretable

Sistem menggunakan GPT-5 yang memiliki kemampuan bawaan untuk menghasilkan penjelasan melalui reasoning berbasis bahasa natural. Berbeda dengan model black-box tradisional yang memerlukan layer interpretasi post-hoc, GPT-5 dapat secara langsung mengartikulasikan alasan di balik keputusannya melalui chain-of-thought reasoning (Wang et al., 2025). Pendekatan ini menghilangkan masalah explanation faithfulness yang sering muncul pada metode post-hoc seperti LIME atau GradCAM, karena penjelasan dihasilkan oleh mekanisme reasoning yang sama dengan yang menghasilkan keputusan.

- b. Cakupan: Hybrid Global-Local

Sistem menyediakan dua tingkat penjelasan:

1. Local explanations untuk setiap produk individual, memberikan justifikasi spesifik mengapa produk tertentu dikategorikan halal/haram/syubhat berdasarkan bukti visual dan komposisi bahannya.

2. Global insights melalui analisis agregat performa sistem, mengidentifikasi pola umum seperti jenis logo palsu yang sering terdeteksi atau kategori bahan kritis yang paling berpengaruh terhadap keputusan.

Kombinasi ini memungkinkan pengguna memahami keputusan individual sambil memberikan transparansi terhadap perilaku sistem secara keseluruhan untuk keperluan audit dan validasi.

c. Bentuk: Multi-Modal Textual Explanation

Sistem menghasilkan penjelasan dalam bentuk structured natural language yang mencakup:

1. Visual Evidence Description – Narasi deskriptif tentang elemen visual yang terdeteksi (setara dengan konsep gradient-based visualization, namun dalam bentuk tekstual)
2. Ingredient-Level Attribution – Penjelasan kontribusi setiap bahan terhadap status produk (konsep serupa dengan feature importance, namun disampaikan dalam reasoning chain yang koheren)
3. External Source Citation – Referensi ke sumber web sebagai bukti pendukung (example-based explanation melalui authoritative references)
4. Reasoning Chain – Alur logika step-by-step dari bukti menuju kesimpulan (concept-based explanation yang menghubungkan konsep halal/haram dengan bukti konkret)
5. Confidence Assessment – Evaluasi tingkat keyakinan model terhadap Keputusan

Bentuk penjelasan berbasis teks ini dipilih karena higher semantic alignment dengan kebutuhan pengguna Muslim yang memerlukan justifikasi berbasis argumen dan rujukan, bukan sekadar visualisasi numerik atau heatmap (Mastroianni & Sager-Müller, n.d.).

d. Justifikasi Konfigurasi

Kombinasi ini mengoptimalkan trade-off antara:

1. Transparency – Penjelasan dihasilkan oleh model yang sama dengan pengambil keputusan
2. Verifiability – Bukti eksternal dapat diaudit melalui sumber web yang dikutip
3. Comprehensibility – Format bahasa natural lebih mudah dipahami dibanding representasi numerik atau visual
4. Religious Appropriateness – Kemampuan mengintegrasikan konteks fiqih dan rujukan Islam jika diperlukan

Konfigurasi ini menjawab kebutuhan kritikal sistem verifikasi halal yang tidak hanya memerlukan akurasi teknis, tetapi juga transparansi, akuntabilitas, dan kesesuaian dengan konteks religius pengguna.

2.1.3 Metode XAI Relevan untuk Penelitian

Berbeda dengan pendekatan XAI tradisional yang mengandalkan teknik post-hoc seperti GradCAM atau SHAP untuk menjelaskan model black-box, penelitian ini mengadopsi pendekatan intrinsic explainability melalui pemanfaatan kemampuan reasoning natural dari model multimodal GPT-5. Pendekatan ini dipilih karena GPT-5 memiliki kapabilitas bawaan untuk menghasilkan penjelasan tekstual yang koheren dan dapat ditelusuri tanpa memerlukan layer interpretasi tambahan

Intrinsic Explainability pada Large Multimodal Models

GPT-5 termasuk dalam kategori model yang mampu menghasilkan penjelasan secara intrinsik melalui kemampuan reasoning berbasis bahasa alaminya. Menurut Wang et al. (2025), model multimodal generasi terbaru seperti GPT-5 menunjukkan performa superior dalam tugas reasoning visual kompleks, termasuk kemampuan untuk mengartikulasikan alasan di balik interpretasi visualnya (Wang et al., 2025). Berbeda dengan CNN tradisional yang memerlukan GradCAM untuk mengidentifikasi region of interest, GPT-5 dapat secara eksplisit menjelaskan elemen visual mana yang menjadi dasar keputusannya melalui output tekstual. Kemampuan ini sangat relevan untuk sistem verifikasi halal karena:

- a. Model dapat menjelaskan mengapa logo tertentu dianggap sah atau palsu
- b. Model dapat mendeskripsikan bagaimana teks komposisi dibaca dan diinterpretasikan
- c. Model dapat memberikan reasoning step-by-step yang dapat diaudit oleh pengguna

Pendekatan ini selaras dengan prinsip chain-of-thought reasoning yang telah terbukti meningkatkan transparansi dan akurasi keputusan model language besar (Wang et al., 2025).

Knowledge-Grounded Explanation melalui Web-Retrieval

Komponen XAI kedua dalam sistem adalah integrasi web-retrieval melalui SERP API sebagai mekanisme grounding eksternal. Berbeda dengan metode SHAP yang menghitung kontribusi fitur secara matematis, sistem ini menggunakan bukti eksternal dari sumber kredibel untuk memperkuat penjelasan.

Pendekatan ini mengikuti prinsip credibility-relevance dalam Information Retrieval yang menekankan pentingnya verifikasi silang terhadap sumber otoritatif (Lioma et al., 2017). Dalam konteks verifikasi halal, sistem dapat:

- a. Mengutip sumber spesifik (Wikipedia, OpenFoodFacts, situs resmi produk) sebagai bukti status bahan
- b. Menyediakan traceability lengkap dari klaim halal/haram ke sumber aslinya
- c. Memberikan konteks tambahan seperti nama alternatif bahan atau variasi regional

Lioma et al. (2017) menegaskan bahwa sistem IR yang menggabungkan multiple authoritative sources menghasilkan kredibilitas penjelasan yang lebih tinggi dibanding sistem yang hanya mengandalkan pengetahuan internal model (Lioma et al., 2017). Hal ini sangat penting untuk domain halal di mana pengguna memerlukan rujukan yang dapat dipertanggungjawabkan secara religius dan ilmiah.

Structured Explanation melalui Prompt Engineering

Sistem ini mengimplementasikan XAI melalui prompt engineering yang terstruktur, di mana GPT-5 diarahkan untuk menghasilkan penjelasan dalam format standar yang mencakup:

- a. Visual Evidence – Deskripsi elemen visual yang terdeteksi (logo halal, teks komposisi, simbol)
- b. Ingredient Analysis – Breakdown status setiap bahan (halal/haram/syubhat) dengan justifikasi
- c. Web-Retrieval Summary – Ringkasan hasil pencarian dari sumber kredibel
- d. Reasoning Chain – Alur logika dari bukti visual dan tekstual menuju kesimpulan
- e. Confidence Score – Tingkat keyakinan model terhadap keputusan
- f. References – Sitasi sumber eksternal yang digunakan (jika relevan)

Format terstruktur ini memastikan bahwa setiap keputusan sistem memiliki audit trail yang lengkap dan dapat ditelusuri. Pendekatan ini sejalan dengan rekomendasi Tuhin (2025) bahwa explainability harus menyediakan reasoning yang dapat diverifikasi, terutama pada aplikasi dengan konsekuensi moral dan religius (Tuhin, 2025).

Keunggulan Pendekatan XAI Berbasis LLM

Dibandingkan metode XAI tradisional, pendekatan berbasis LLM multimodal memiliki beberapa keunggulan untuk kasus verifikasi halal:

Tabel 2.1 XAI Tradisional vs XAI & LLM

Aspek	GradCAM/SHAP	GPT-5 + Web-Retrieval
Naturalness	Heatmap/skor numerik yang memerlukan interpretasi	Penjelasan bahasa natural yang langsung dapat dipahami
Context Awareness	Terbatas pada fitur input	Dapat menghubungkan konteks visual, tekstual, dan pengetahuan eksternal
Traceability	Sulit melacak sumber keputusan	Dapat menyediakan sitasi sumber web kredibel
Flexibility	Memerlukan model terpisah untuk vision dan text	Single model untuk multimodal reasoning
Religious Appropriateness	Tidak dapat mempertimbangkan nuansa fiqh	Dapat mengintegrasikan pengetahuan hukum Islam jika diperlukan

Mastroianni & Sager-Müller (2024) menyatakan bahwa metode XAI terbaik adalah yang menghasilkan penjelasan dengan semantic alignment tertinggi terhadap konteks aplikasi (Mastroianni & Sager-Müller, n.d.). Dalam kasus halal, penjelasan berbasis bahasa natural memiliki alignment lebih tinggi dibanding heatmap visual, karena pengguna Muslim membutuhkan justifikasi berbasis argumen dan referensi, bukan sekadar visualisasi.

Validasi Transparansi Sistem

Untuk memastikan kualitas penjelasan, sistem ini dievaluasi berdasarkan beberapa kriteria XAI yang direkomendasikan literatur:

- a. Completeness – Apakah penjelasan mencakup semua bukti relevan (visual, komposisi, web)?
- b. Consistency – Apakah reasoning konsisten antar-produk serupa?
- c. Correctness – Apakah penjelasan sesuai dengan ground truth status halal/haram?
- d. User Comprehensibility – Apakah penjelasan dapat dipahami oleh pengguna non-teknis?

Evaluasi ini sejalan dengan rekomendasi Budhkar et al. (2025) bahwa sistem XAI harus divalidasi tidak hanya dari aspek teknis, tetapi juga dari perspektif user trust dan practical usability (Budhkar et al., 2025).

2.1.4 Tantangan Implementasi XAI

Literatur mengidentifikasi beberapa tantangan utama:

Tabel 2.2 Tantangan Utama dari Literasi Terdahulu

No.	Tantangan Utama	Deskripsi Temuan Literatur	Sumber
1	Trade-off antara Akurasi dan Interpretabilitas	65% praktisi AI melaporkan kesulitan menyeimbangkan performa model deep learning dengan kebutuhan transparansi, terutama pada aplikasi berisiko tinggi.	(“XAI in Action,” n.d.)
2	Kurangnya Standar Evaluasi XAI	Tidak ada konsensus internasional tentang metrik evaluasi. Penggunaan <i>fidelity</i> , <i>stability</i> , <i>sparsity</i> , dan <i>human-interpretability</i> berbeda antar studi.	(Budhkar et al., 2025)
3	Risiko Misleading Explanations	Metode post-hoc seperti LIME dan saliency maps berpotensi menghasilkan penjelasan yang tidak mencerminkan mekanisme internal model (<i>explanation bias</i>).	(Seyedmomeni & Keyvanrad, n.d.)
4	Komputasi yang Berat	SHAP dan metode berbasis sampling memerlukan komputasi tinggi, terutama pada model dengan jumlah fitur besar atau arsitektur kompleks.	(Budhkar et al., 2025)
5	Keterbatasan untuk Real-Time Explainability	Aplikasi industri, otomotif, dan sistem otonom membutuhkan penjelasan instan, sementara banyak teknik XAI tidak dirancang untuk skenario real-time.	(Linardatos et al., 2020)

2.1.5 XAI dalam Perspektif Regulasi, Etika, dan Kepercayaan Publik

Regulasi seperti GDPR di Eropa memberikan “right to explanation,” yang mewajibkan organisasi menjelaskan keputusan algoritmik kepada pengguna. Hal ini menunjukkan bahwa XAI tidak hanya penting secara teknis, tetapi juga legal. Tuhin (2025) menjelaskan bahwa kegagalan transparansi dapat menyebabkan diskriminasi, bias, dan hilangnya akuntabilitas, sehingga explainability menjadi fondasi dari AI etis yang berkeadilan sosial (Tuhin, 2025).

Dalam domain halal, urgensi XAI bahkan lebih tinggi. Tidak seperti sektor medis dengan FDA atau sektor finansial dengan SEC, industri halal tidak memiliki regulator global yang mengawasi transparansi algoritma. Keputusan halal/haram memiliki konsekuensi religius dan

moral bagi konsumen Muslim. Oleh karena itu, XAI dapat berfungsi sebagai audit trail yang menunjukkan dasar keputusan sistem secara dapat diverifikasi, sehingga mengurangi potensi misinformasi dan meningkatkan kepercayaan pengguna.

2.1.6 Relevansi XAI untuk Sistem Verifikasi Kehalalan

Berdasarkan seluruh literatur yang telah dibahas, penerapan XAI dalam penelitian ini memiliki fungsi kritikal yang melampaui sekadar komponen teknis. XAI menjadi fondasi utama yang memastikan sistem verifikasi halal berbasis AI dapat diterima, dipercaya, dan dipertanggungjawabkan oleh pengguna Muslim. Berikut adalah kontribusi spesifik XAI dalam konteks penelitian ini:

Memberikan Justifikasi Visual Berbasis Deskripsi Natural

Sistem menggunakan kemampuan GPT-5 untuk menghasilkan deskripsi tekstual eksplisit tentang elemen visual yang menjadi dasar keputusan. Berbeda dengan heatmap GradCAM yang memerlukan interpretasi tambahan, GPT-5 dapat secara langsung menjelaskan:

- a. Bagian mana dari kemasan yang dibaca (misalnya: "Logo halal MUI terdeteksi di sudut kanan atas kemasan")
- b. Karakteristik visual yang dinilai (misalnya: "Logo memiliki teks 'HALAL' dalam tulisan Arab dan nomor registrasi yang jelas")
- c. Alasan mengapa elemen tertentu dianggap sah atau mencurigakan (misalnya: "Logo tidak memiliki hologram keamanan yang biasanya ada pada sertifikat BPJPH resmi")

Pendekatan ini memberikan transparency at the perceptual level pengguna dapat memahami tidak hanya apa yang dilihat model, tetapi juga bagaimana model menginterpretasi elemen visual tersebut. Hal ini sejalan dengan temuan Wang et al. (2025) bahwa model multimodal generasi terbaru memiliki kemampuan superior dalam mengartikulasikan reasoning visualnya (Wang et al., 2025).

Memberikan Penjelasan Terstruktur untuk Status Bahan

Sistem menyediakan breakdown reasoning untuk setiap bahan dalam komposisi produk, mencakup:

- a. Status bahan (halal/haram/syubhat) dengan justifikasi spesifik
- b. Sumber informasi yang digunakan (database internal model atau hasil web-retrieval)
- c. Konteks tambahan seperti variasi nama bahan atau kategori risiko

Contoh penjelasan: "E471 (Mono- and Diglycerides) dikategorikan sebagai syubhat karena dapat bersumber dari lemak hewani atau nabati. Berdasarkan hasil pencarian, produk ini tidak mencantumkan sertifikat halal untuk E471, sehingga statusnya dianggap tidak pasti."

Berbeda dengan SHAP values yang hanya memberikan skor kontribusi numerik (misalnya 0.42), pendekatan berbasis bahasa natural ini memberikan contextual reasoning yang lebih sesuai dengan kebutuhan pengguna yang mencari justifikasi berbasis argumen, bukan sekadar angka (Budhkar et al., 2025).

Menyediakan Traceability melalui Web-Retrieval Citation

Komponen web-retrieval melalui SERP API memungkinkan sistem untuk:

- a. Mengutip sumber eksternal spesifik sebagai bukti pendukung
- b. Menyediakan URL atau referensi ke database halal resmi (BPJPH, JAKIM, MUIS)
- c. Menampilkan snippet relevan dari hasil pencarian yang digunakan dalam reasoning

Mekanisme ini mengikuti prinsip credibility-relevance dalam Information Retrieval (Lioma et al., 2017), di mana keputusan sistem dapat diverifikasi ulang oleh pengguna melalui sumber asli yang dikutip. Hal ini sangat penting untuk domain halal karena:

- a. Pengguna dapat mengaudit kebenaran klaim sistem
- b. Lembaga sertifikasi dapat memvalidasi rujukan yang digunakan
- c. Transparansi sumber meningkatkan kepercayaan dan akuntabilitas

Lioma et al. (2017) menegaskan bahwa sistem yang menggabungkan multiple authoritative sources menghasilkan kredibilitas lebih tinggi dibanding sistem yang hanya mengandalkan pengetahuan internal (Lioma et al., 2017).

Mendukung Audit dan Validasi Sistem

Struktur penjelasan yang terstandarisasi memungkinkan evaluasi sistematis terhadap kualitas reasoning model. Setiap keputusan menyertakan chain-of-thought reasoning yang dapat ditelusuri langkah demi langkah, evidence trail dari bukti visual, komposisi bahan, dan hasil web search, serta confidence score yang mengindikasikan tingkat keyakinan model. Format ini memfasilitasi identifikasi error patterns seperti kesalahan sistematis dalam mendeteksi logo palsu, validasi konsistensi reasoning antar-produk serupa, dan audit compliance dengan standar halal yang berlaku. Pendekatan ini sejalan dengan rekomendasi Tjoa (2021) bahwa sistem AI yang digunakan dalam konteks publik harus dapat diaudit dan disupervisi oleh manusia (Tjoa & Guan, 2021).

Meningkatkan Kepercayaan dan Penerimaan Pengguna Muslim

Penelitian menunjukkan bahwa sistem yang menyertakan penjelasan dapat meningkatkan trust pengguna hingga 34% dibandingkan model black-box (Tuhin, 2025). Dalam konteks halal, peningkatan kepercayaan ini bahkan lebih kritical karena:

- a. Keputusan halal/haram memiliki konsekuensi religius dan moral bagi pengguna
- b. Kesalahan sistem dapat menyebabkan konsumsi produk haram yang bertentangan dengan keyakinan
- c. Transparansi sistem membangun keyakinan bahwa teknologi digunakan sebagai alat bantu, bukan pengganti kewenangan ulama atau lembaga sertifikasi

Tuhin (2025) menegaskan bahwa explainability adalah "moral, legal, and practical imperative" (Tuhin, 2025) dalam konteks halal, dimensi moral ini sangat menonjol karena menyangkut kepercayaan religius jutaan Muslim di seluruh dunia.

Menjembatani Gap antara Teknologi dan Konteks Religius

Salah satu tantangan terbesar implementasi AI dalam domain halal adalah memastikan teknologi tidak bertentangan dengan prinsip-prinsip syariah. XAI membantu menjembatani gap ini dengan:

1. Memungkinkan ulama dan ahli fiqih untuk memverifikasi reasoning sistem
2. Menyediakan rujukan yang dapat dikonfirmasi dengan literatur Islam
3. Menunjukkan bahwa sistem bekerja sebagai assistive tool yang mempercepat proses verifikasi, bukan sebagai otoritas mutlak

Pendekatan ini memastikan bahwa teknologi AI dapat diterima oleh komunitas Muslim tanpa menimbulkan kontroversi atau penolakan.

2.2 Halal Application

Kebutuhan verifikasi halal pada produk makanan kemasan semakin meningkat seiring globalisasi rantai pasok, kompleksitas komposisi pangan modern, dan tingginya mobilitas konsumen Muslim. Berbeda dengan verifikasi pada bahan mentah yang dapat diuji menggunakan metode laboratorium, verifikasi produk kemasan membutuhkan pendekatan berbeda karena informasi kehalalan umumnya tercantum pada label, daftar komposisi, atau logo sertifikasi yang bervariasi antarnegara. Oleh karena itu, teknologi yang dapat membaca teks kemasan, mengenali logo halal, memverifikasi bahan melalui sumber daring, dan memberikan penjelasan transparan menjadi semakin strategis. Bagian ini membahas

perkembangan penelitian terkait aplikasi halal, dengan fokus pada teknologi yang relevan untuk sistem verifikasi berbasis computer vision, pemrosesan teks, dan web-retrieval, sebagaimana digunakan dalam penelitian ini.

2.2.1 Laboratory-Based Halal Authentication (Brief Overview)

Metode autentikasi halal berbasis laboratorium seperti electronic nose (e-nose), spektroskopi, kromatografi, dan PCR-based detection dikenal memiliki akurasi sangat tinggi. Nafi' et al. (2025) melaporkan bahwa e-nose berbasis machine learning dapat mencapai akurasi >99% dalam mendeteksi adulterasi daging, bahkan memperoleh $R^2 = 0.9977$ pada model 1DCNN-RFR untuk konsentrasi pork 10–60% (Nafi', Avivi, Kuswandi, & Rohman, 2025). Sementara itu, Fathima et al. (2024) menunjukkan bahwa PCR mampu mendeteksi DNA babi hingga 0.0001 ng, dan teknik seperti HPLC dapat mengidentifikasi kontaminasi pork pada batas 0.24% dalam produk olahan (Fathima, Rahmawati, Windarsih, & Suratno, 2024).

Walaupun sangat presisi, metode laboratorium memiliki beberapa keterbatasan untuk penggunaan konsumen:

- a. memerlukan peralatan khusus dan mahal (GC-MS, FTIR, PCR cycler),
- b. tidak portable dan proses analisis dapat memakan waktu panjang,
- c. membutuhkan tenaga ahli,
- d. tidak dapat diaplikasikan langsung pada produk kemasan tertutup, serta
- e. tidak sesuai untuk verifikasi cepat di ritel atau saat bepergian.

Keterbatasan tersebut mendorong lahirnya pendekatan yang lebih praktis dan dapat diakses oleh konsumen, seperti computer vision, OCR, dan pemrosesan teks, yang menjadi fokus utama penelitian ini.

2.2.2 Consumer-Facing Halal Verification Text and Language-Based Approaches

Verifikasi halal berbasis teks menjadi penting karena informasi halal pada produk kemasan sering tersedia dalam bentuk label komposisi. Yusop et al. (2025) menunjukkan bahwa pemahaman linguistik berbasis budaya dapat memengaruhi akurasi klasifikasi halal-haram. Dengan menggabungkan machine learning termasuk Random Forest, Naïve Bayes, SVM, dan Logistic Regression dan Malay-Arabic lexical mapping, peneliti berhasil mencapai akurasi 85% pada Random Forest, dengan precision 0.89 dan F1-score 0.88 (Yusop et al., 2025).

Namun, penelitian tersebut memiliki keterbatasan signifikan:

1. dataset sangat kecil (hanya 16 item),
2. hanya mencakup dua bahasa (Melayu-Arab),

3. tidak mempertimbangkan lebih dari 100 bahasa yang umum digunakan dalam label makanan global,
4. tidak menangani ambiguitas bahan seperti gelatin, rennet, mono- and diglycerides, atau turunan alkohol yang memiliki status halal berbeda tergantung sumbernya,
5. tidak mencakup kode E-numbers yang bersifat lintasbahasa dan memerlukan verifikasi berbasis konteks.

Selain itu, studi mislabeling yang disampaikan dalam review Fathima et al. (2024) menunjukkan bahwa 78.3% produk daging olahan di Malaysia terbukti mislabeled, mengindikasikan bahwa membaca teks saja tidak cukup; sistem harus mampu melakukan verifikasi silang terhadap sumber eksternal melalui mekanisme seperti web-retrieval (Fathima et al., 2024).

Dengan demikian, pemrosesan teks sangat penting, namun untuk mencapai akurasi tinggi pada produk kemasan global, sistem harus menggabungkan OCR, pemahaman multibahasa, dan pencarian informasi eksternal semuanya menjadi inti dari penelitian ini.

2.2.3 Halal Detection Berbasis Computer Vision pada Produk Kemasan

Logo Halal Recognition

Logo halal merupakan indikator penting kehalalan produk, tetapi terdapat lebih dari 100 variasi logo halal internasional, dengan bentuk, warna, dan gaya yang berbeda. Tantangan ini diperparah oleh praktik pemalsuan label dan penggunaan logo halal yang tidak terstandarisasi di negara tertentu. Penelitian sebelumnya mengenai label recognition masih terbatas. Sebagai contoh, Fadhilah et al. (2018), yang dirangkum dalam review Fathima et al., menunjukkan bahwa CNN untuk pengenalan karakter label mencapai akurasi 98.08%, tetapi akurasi verifikasi kata non-halal hanya 50%, terutama akibat kesalahan segmentasi gambar dan variabilitas kemasan (Fathima et al., 2024). Belum ada penelitian yang secara komprehensif mendeteksi logo halal lintas negara menggunakan deep learning, sehingga area ini masih terbuka luas.

OCR untuk Ekstraksi Teks Komposisi

Ekstraksi teks dari kemasan makanan merupakan tahap yang sangat penting dalam verifikasi halal berbasis AI, karena daftar bahan, klaim halal, dan informasi sensitif lainnya hampir selalu disajikan dalam bentuk teks. Namun, penelitian terbaru menunjukkan bahwa

kinerja OCR pada kemasan makanan jauh lebih rendah dibandingkan dokumen standar. Penelitian Nagayi et al. (2025) mengevaluasi empat OCR open-source Tesseract, EasyOCR, PaddleOCR, dan TrOCR pada 1.628 gambar kemasan makanan di Afrika Selatan, yang mencakup kondisi dunia nyata seperti glare, permukaan melengkung, dan teks multibahasa (Nagai, Khan, Frank, Swart, & Nyirenda, 2025).

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa tidak ada model OCR yang sepenuhnya andal untuk ekstraksi teks pada food packaging. Tesseract memiliki performa linguistik terbaik, tetapi tetap mencatat CER 0.912 dan WER 6.262, menandakan kesalahan karakter dan kata yang cukup tinggi pada label kemasan. EasyOCR dan PaddleOCR memberikan coverage lebih baik, masing-masing 91.53% dan 98.31%, namun masih menghasilkan error yang signifikan dalam metrik BLEU, ROUGE-L, dan F1. Sementara itu, TrOCR mencapai coverage 100%, tetapi kualitas teks yang dihasilkan sangat rendah (BLEU 0.010, F1 0.017) sehingga tidak dapat digunakan tanpa fine-tuning tambahan. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem OCR konvensional masih kesulitan mengekstraksi teks dari kemasan makanan yang kompleks, terutama pada bagian seperti daftar komposisi bahan dan panel nutrisi.

Dengan demikian, teknologi verifikasi halal berbasis kemasan tidak dapat bergantung pada OCR saja. Sistem harus mengintegrasikan OCR dengan deteksi area teks, pre-processing visual, dan mekanisme web-retrieval untuk memverifikasi istilah teknis seperti E-numbers, bahan turunan hewani, atau istilah multibahasa yang tidak dapat diandalkan hanya dari hasil OCR mentah.

Food Package Understanding (Vision Model)

Penelitian oleh Iswahyudi et al. (2023) menunjukkan bahwa deep learning mampu mengenali kategori makanan secara visual menggunakan ResNet101 dengan 94.65% testing accuracy pada dataset besar berisi 16.643 gambar makanan (Iswahyudi, Hindarto, & Santoso, 2023). Meskipun studi ini tidak secara langsung menargetkan deteksi halal, hasilnya mengonfirmasi bahwa vision model memiliki kemampuan generalisasi tinggi terhadap variasi visual makanan, sehingga relevan sebagai fondasi pengembangan sistem yang lebih kompleks seperti deteksi elemen kemasan (logo, teks, pola desain).

Penelitian lain (Ramdania et al., 2022) menggunakan CNN untuk mengidentifikasi bahan kosmetik Korea melalui citra tulisan Hangeul dengan akurasi 95.56%, meskipun recall bahan halal hanya 25% karena dataset hanya mencakup sembilan kelas bahan syubhat (Ramdania et al., 2022). Studi ini memperlihatkan bahwa model vision dapat digunakan untuk membaca

komponen teks non-Latin pada kemasan, tetapi juga menunjukkan pentingnya dataset yang representatif dan variasi tinggi untuk meningkatkan performa dunia nyata.

Hingga saat ini, belum ada penelitian yang mengintegrasikan logo detection + OCR ingredient extraction + bahan verification dalam satu sistem end-to-end gap utama yang diisi oleh penelitian ini.

2.2.4 Existing Halal Verification Applications

Selain penelitian akademik yang membahas teknologi pendukung verifikasi halal, terdapat sejumlah aplikasi halal berbasis AI, barcode, maupun E-number yang telah tersedia di pasar dan digunakan oleh konsumen. Namun, hasil evaluasi langsung terhadap aplikasi-aplikasi tersebut menunjukkan bahwa fitur dan pendekatan yang digunakan masih memiliki keterbatasan signifikan, terutama dalam konteks verifikasi halal berbasis kemasan yang bersifat multimodal. Subbab ini merangkum aplikasi-aplikasi tersebut dan menjelaskan gap yang belum mampu dijawab oleh pendekatan komersial yang ada.

Halal AI – Ingredient-Focused Scanner

Halal AI merupakan aplikasi berbasis pemindaian gambar yang memanfaatkan AI untuk membaca daftar bahan (ingredients). Namun, berdasarkan uji coba empiris, aplikasi ini memiliki beberapa keterbatasan utama:

1. Pemindaian hanya dapat dilakukan apabila foto daftar bahan dipotret dengan jelas.
2. Aplikasi tidak dapat beroperasi hanya dengan foto bagian depan kemasan, sehingga mengharuskan pengguna memotret panel belakang secara lengkap.
3. Tidak terdapat kemampuan mendeteksi logo halal, baik resmi maupun tidak sah.
4. Tidak tersedia mekanisme reasoning atau verifikasi berbasis web-retrieval.

Dengan demikian, Halal AI masih sepenuhnya ingredient-dependent dan belum mampu melakukan analisis kemasan pada level multimodal.

Halal Scanner – Barcode- and E-Code–Based Verification

Halal Scanner memanfaatkan barcode dan E-number sebagai sumber utama dalam proses verifikasi. Hasil evaluasi menunjukkan keterbatasan berikut:

1. Aplikasi hanya bekerja apabila barcode dapat dipindai dan ingredients difoto secara jelas.
2. Tidak terdapat kemampuan vision untuk membaca kemasan dari foto bagian depan.

3. Tidak mendukung deteksi logo halal palsu atau ketidaksesuaian antara logo dan kandungan bahan.
4. Informasi yang diberikan bergantung pada database internal yang bersifat statis, bukan verifikasi kontekstual.

Pendekatan ini mengandung keterbatasan kritis, terutama untuk produk impor yang tidak selalu memiliki barcode standar.

Taste Halal – Ingredient-Based & Barcode Scanner

Taste Halal memiliki fungsi serupa dengan Halal Scanner, yaitu memberikan verifikasi berbasis barcode dan ingredients yang difoto. Dari hasil pengujian:

1. Pemindaian sangat bergantung pada kualitas foto daftar bahan; glare atau lengkungan kemasan membuat OCR gagal.
2. Aplikasi tidak dapat menganalisis produk dari foto bagian depan, sehingga memerlukan akses penuh ke panel komposisi.
3. Tidak ada fitur reasoning, XAI, maupun penjelasan berbasis sumber.
4. Tidak mampu mengidentifikasi validitas atau keaslian logo halal.

Dengan demikian, Taste Halal juga belum mendukung pendekatan multimodal end-to-end.

2.2.5 Gap Analysis: Apa yang Sudah Ada dan Apa yang Masih Hilang

Berdasarkan kajian literatur dan evaluasi empiris terhadap aplikasi halal yang telah tersedia di pasar, dapat disimpulkan bahwa ekosistem teknologi verifikasi halal saat ini masih terfragmentasi. Setiap pendekatan baik berbasis laboratorium, pemrosesan teks, computer vision, maupun aplikasi komersial memiliki kontribusi masing-masing, tetapi semuanya menghadapi keterbatasan yang menghambat implementasi verifikasi halal yang komprehensif, cepat, dan dapat diakses oleh konsumen.

Untuk memetakan kondisi tersebut secara lebih sistematis, Tabel 2.3 berikut menyajikan analisis gap antara teknologi yang sudah ada dan kebutuhan sistem verifikasi halal modern.

Tabel 2.3 Gap Analysis Penelitian

Aspek	Apa yang Sudah Ada	Keterbatasan Utama	Gap yang Belum Terisi
-------	--------------------	--------------------	-----------------------

Metode Lab (PCR, FTIR, e-nose)	Akurasi tinggi untuk deteksi kontaminasi babi dan biomarker.	Tidak portable, mahal, butuh ahli; tidak bisa untuk produk kemasan tertutup.	Dibutuhkan solusi verifikasi halal praktis tanpa lab, khususnya pada produk kemasan.
Text-Based Classification (NLP)	Klasifikasi halal-haram berbasis teks (akurasinya sampai 85%).	Dataset kecil, tidak multibahasa, tidak menangani bahan ambigu & E-number.	Sistem verifikasi teks yang mampu memproses komposisi multibahasa & bahan kompleks.
Computer Vision (Logo & OCR)	Vision model dan OCR mampu membaca objek & teks dasar.	OCR error tinggi di kemasan; belum ada dataset logo halal internasional; belum ada integrasi logo + OCR.	Sistem vision yang mampu membaca kemasan front-view dan mengenali logo halal sah/tidak sah.
Aplikasi Halal Eksisting	Pemindaian barcode, ingredients, dan E-number (Halal AI, Halal Scanner).	Tidak bisa pakai foto depan; tidak ada deteksi logo; tidak ada verifikasi bahan berbasis sumber; tidak adaptif.	Aplikasi yang mampu memverifikasi halal dari foto kemasan tanpa bergantung barcode.
Web/Pencarian Bahan	Lookup tabel E-number dan database statis.	Tidak menangani bahan baru; tidak memeriksa kredibilitas sumber; tidak multibahasa.	Sistem yang memverifikasi bahan melalui informasi daring secara real-time.

2.2.6 Relevansi Literatur Terhadap Penelitian Ini

Kajian literatur pada Subbab 2.2.1 hingga 2.2.5 menunjukkan bahwa teknologi verifikasi halal yang ada saat ini belum mampu menyediakan solusi yang cepat, transparan, dan praktis bagi konsumen, terutama pada konteks produk makanan kemasan. Setiap pendekatan yang telah dikembangkan, baik berbasis laboratorium, pemrosesan teks, computer vision, maupun aplikasi komersial, memberikan kontribusi penting, tetapi masing-masing masih memiliki keterbatasan yang signifikan.

Seluruh literatur menunjukkan bahwa belum ada pendekatan yang mampu memberikan verifikasi halal secara otomatis berbasis kemasan secara menyeluruh. Penelitian ini menutup gap tersebut dengan mengintegrasikan kemampuan:

1. Computer vision,
2. OCR multibahasa,
3. Web-retrieval bahan,
4. Analisis berbasis reasoning

ke dalam satu sistem yang dapat diakses oleh konsumen. Dengan demikian, penelitian ini memiliki relevansi tinggi terhadap perkembangan teknologi halal, sekaligus memperluas kontribusi ilmiah dalam domain verifikasi pangan berbasis AI.

Penelitian ini secara khusus berfokus pada mode input gambar tunggal (single-image mode), yakni citra tampilan depan (front-view) kemasan produk. Fokus ini dipilih karena mencerminkan skenario penggunaan konsumen yang paling realistis dan praktis dalam konteks dunia nyata. Sebagian besar konsumen, khususnya wisatawan Muslim di negara asing, hanya memiliki akses visual ke bagian depan kemasan produk ketika berbelanja di supermarket atau toko ritel, tanpa kesempatan untuk memeriksa seluruh sisi kemasan atau membuka produk.

Pendekatan single-image mode juga dirancang untuk meminimalkan friksi dalam pengalaman pengguna (user experience), karena pengguna tidak diwajibkan mengambil gambar dari berbagai sudut atau menyediakan input tambahan yang kompleks. Keterbatasan informasi visual yang melekat pada tampilan depan kemasan diatasi melalui integrasi mekanisme web-retrieval, yang secara aktif menelusuri informasi komposisi bahan dari sumber eksternal yang kredibel.

2.3 System Detection

Sistem deteksi dalam verifikasi halal produk makanan kemasan terdiri dari tiga komponen utama yang bekerja secara berurutan: deteksi logo halal, ekstraksi teks menggunakan OCR, dan klasifikasi bahan. Ketiga komponen ini membentuk sebuah pipeline multimodal yang memungkinkan sistem memahami informasi visual maupun tekstual pada kemasan untuk menghasilkan keputusan halal-haram-syubhat secara komprehensif. Subbab ini menyajikan perkembangan teknologi yang relevan dalam setiap komponen serta tantangan utama yang masih dihadapi.

2.3.1 Vision-Based Logo Recognition

Deteksi dan verifikasi logo halal merupakan langkah penting dalam verifikasi kemasan. Tantangan utama muncul dari tingginya variasi logo halal internasional lebih dari 100 bentuk dengan perbedaan warna, karakter tipografi, hingga kualitas cetak. Selain itu, logo halal umumnya berukuran kecil dan sering berada dalam latar visual yang padat. Tantangan ini diperparah oleh praktik pemalsuan label dan penggunaan logo halal yang tidak terstandarisasi di negara tertentu.

Pendekatan Tradisional: Object Detection Models

Penelitian sebelumnya menggunakan model deteksi objek seperti YOLO, SSD, dan Faster R-CNN untuk mendeteksi logo pada kemasan produk. Pendekatan ini memerlukan:

1. Dataset berlabel besar untuk proses training
2. Proses annotation manual yang intensif dan memakan waktu
3. Re-training model untuk setiap variasi logo baru yang muncul
4. Infrastruktur komputasi yang signifikan untuk training dan inference

Studi menunjukkan bahwa YOLO memberikan kecepatan tinggi untuk aplikasi mobile, namun performanya menurun pada objek kecil (Aboyomi & Daniel, 2023). Sebaliknya, Faster R-CNN memberikan presisi lebih stabil untuk objek kecil, meski dengan beban komputasi lebih besar (Aboyomi & Daniel, 2023). Penelitian deteksi small-object seperti drone juga memperlihatkan pola serupa YOLO cepat tetapi sensitif terhadap ukuran objek, sedangkan Faster R-CNN lebih robust (Alkentar, Alsahwa, Assalem, & Karakolla, 2021). Generasi terbaru seperti YOLOv8 mencoba menggabungkan efisiensi dan akurasi, sehingga menjadi kandidat yang kuat untuk aplikasi real-time (“Comparing YOLOv8, SSD, and Faster-RCNN for Real-Time Object Detection,” 2024).

Namun, untuk kasus logo halal, pendekatan tradisional ini menghadapi hambatan fundamental: belum ada dataset logo halal internasional yang komprehensif. Logo halal dari berbagai negara BPJPH (Indonesia), JAKIM (Malaysia), MUIS (Singapura), IFANCA (Amerika), hingga lembaga regional lainnya memiliki desain yang sangat beragam dan terus bertambah. Membangun dataset yang mencakup seluruh variasi ini, termasuk logo palsu untuk training fraud detection, memerlukan upaya kurasi yang sangat besar dan sulit dipertahankan mengingat munculnya logo baru secara berkala.

Pendekatan Zero-Shot dengan Large Multimodal Models

Perkembangan large multimodal models seperti GPT-5 membuka pendekatan alternatif yang tidak memerlukan training spesifik untuk setiap jenis logo. Wang et al. (2025) menunjukkan bahwa model multimodal generasi terbaru memiliki kemampuan zero-shot recognition yang superior pada domain kompleks, termasuk kemampuan untuk mengenali, mendeskripsikan, dan mengevaluasi objek visual tanpa training tambahan (Wang et al., 2025). Model ini dapat memahami konsep visual secara umum berdasarkan pengetahuan yang diperoleh selama pre-training pada skala data yang sangat besar.

Dalam konteks logo halal, pendekatan zero-shot bekerja dengan cara:

1. Recognition tanpa training spesifik - Model dapat mengidentifikasi keberadaan logo halal berdasarkan karakteristik visual umum (bentuk sertifikat, teks Arab, simbol khas) tanpa perlu "melihat" logo tersebut sebelumnya dalam dataset training.
2. Evaluasi keaslian berbasis deskripsi - Berbeda dengan model object detection yang hanya memberikan bounding box dan confidence score, GPT-5 dapat mendeskripsikan elemen-elemen logo secara eksplisit (misalnya: "Logo berbentuk lingkaran dengan teks 'HALAL' dalam tulisan Arab dan nomor registrasi di bagian bawah").
3. Reasoning kontekstual - Model dapat menilai konsistensi antara logo dengan elemen kemasan lainnya, serta memberikan penilaian terhadap kredibilitas logo berdasarkan pengetahuan umum tentang karakteristik logo resmi versus logo tidak sah.

Keunggulan dan Keterbatasan Pendekatan Zero-Shot

Pendekatan zero-shot memiliki beberapa keunggulan signifikan untuk kasus logo halal:

1. Tidak memerlukan dataset training logo halal - Sistem dapat mengenali logo dari berbagai negara tanpa perlu dataset berlabel yang komprehensif dan terus diperbarui.
2. Adaptif terhadap logo baru - Ketika lembaga sertifikasi memperkenalkan desain logo baru atau ada variasi regional, sistem dapat langsung menanganinya tanpa re-training.
3. Kemampuan fraud detection - Model dapat mengidentifikasi logo palsu berdasarkan inkonsistensi visual (resolusi rendah, proporsi tidak tepat, elemen yang hilang) meskipun tidak pernah "melihat" contoh spesifik logo palsu tersebut sebelumnya.
4. Penjelasan eksplisit - Berbeda dengan skor confidence numerik dari model CNN, GPT-5 dapat memberikan penjelasan tekstual tentang elemen visual mana yang menjadi dasar penilaian keaslian logo.

5. Multimodal reasoning - Model dapat mengintegrasikan informasi visual logo dengan informasi tekstual pada kemasan (nama produk, komposisi bahan, klaim halal) untuk memberikan penilaian yang lebih holistik.

Selain itu ada beberapa keterbatasan ketika menggunakan pendekatan Zero-Shot:

1. Bergantung pada prompt engineering - Kualitas recognition sangat dipengaruhi oleh desain prompt yang digunakan untuk mengarahkan model.
2. Latensi API calls - Setiap permintaan memerlukan API call ke server eksternal, yang dapat menimbulkan delay dibanding model lokal.
3. Biaya operasional - Biaya per-inference melalui API lebih tinggi dibanding model lokal yang sudah di-deploy.
4. Tidak ada guarantee pada edge cases - Pada kasus logo yang sangat tidak konvensional atau rusak parah, performa zero-shot dapat menurun.

Relevansi untuk Penelitian Ini

Penelitian ini mengadopsi pendekatan zero-shot berbasis GPT-5 karena beberapa alasan metodologis dan praktis:

1. Ketiadaan dataset logo halal komprehensif - Membangun dataset yang mencakup 100+ variasi logo internasional, termasuk logo palsu, memerlukan upaya kurasi yang tidak feasible untuk penelitian ini.
2. Fokus pada proof-of-concept - Tujuan penelitian adalah mengevaluasi kelayakan pipeline verifikasi halal end-to-end, bukan mengoptimalkan satu komponen spesifik seperti logo detection.
3. Kebutuhan transparansi - XAI merupakan komponen kritical dalam penelitian ini. Deskripsi tekstual eksplisit dari GPT-5 lebih mudah dipahami pengguna dibanding heatmap GradCAM dari CNN.
4. Skalabilitas konseptual - Pendekatan zero-shot memungkinkan sistem untuk adaptif terhadap produk dari berbagai negara tanpa perlu maintenance dataset yang intensif.
5. Integrasi dengan komponen lain - Menggunakan model multimodal yang sama (GPT-5) untuk logo recognition, OCR, dan reasoning memastikan konsistensi arsitektur pipeline.

Dengan pendekatan ini, penelitian dapat mengevaluasi performa sistem verifikasi halal pada kondisi realistis di mana logo halal dari berbagai negara harus dapat dikenali dan diverifikasi tanpa bergantung pada dataset training yang lengkap. Pendekatan ini juga lebih

selaras dengan skenario penggunaan konsumen yang memerlukan verifikasi cepat terhadap produk dari berbagai negara tanpa perlu update aplikasi setiap ada logo baru.

2.3.2 OCR-Based Text Extraction

Jika logo halal tidak ditemukan atau diragukan, sistem harus membaca daftar komposisi pada kemasan. Namun, OCR pada kemasan makanan menghadapi berbagai kendala teknis seperti pantulan cahaya (glare), permukaan melengkung, font kecil, variasi multibahasa, dan layout yang tidak terstruktur.

Nagayi et al. (2025) melakukan benchmark komprehensif terhadap empat model OCR Tesseract, EasyOCR, PaddleOCR, dan TrOCR menggunakan 1.628 gambar kemasan makanan dari berbagai retail (Nagayi et al., 2025). Hasilnya menunjukkan bahwa:

1. Tesseract memberikan akurasi linguistik terbaik namun tetap memiliki error karakter yang tinggi,
2. EasyOCR memberikan keseimbangan antara kecepatan dan coverage,
3. PaddleOCR memiliki coverage terbesar tetapi lambat,
4. TrOCR membutuhkan fine-tuning karena performa default-nya sangat rendah untuk domain packaging.

Temuan-temuan ini mempertegas bahwa OCR tidak dapat berdiri sendiri tanpa dukungan preprocessing dan text-region detection berbasis vision model.

2.3.3 Ingredient Classification

Setelah teks diekstraksi, bahan-bahan tersebut perlu diklasifikasikan sebagai halal, haram, atau syubhat. Penelitian Ramdania et al. (2022) menunjukkan bahwa CNN dapat digunakan untuk mengenali teks bahan dalam citra, dengan akurasi mencapai 95.56% (Ramdania et al., 2022). Namun, recall kategori halal hanya 25% karena dataset tidak mencakup kelas halal sehingga model bias ke kelas syubhat.

Studi ini menekankan bahwa klasifikasi bahan membutuhkan dataset seimbang dan multikategori. Selain itu, banyak bahan bersifat ambigu atau bergantung pada sumber (misalnya gelatin, emulsifier), sehingga klasifikasi berbasis gambar saja belum cukup tanpa dukungan pengetahuan eksternal.

2.3.4 Gap Analysis

Meskipun penelitian deteksi objek, OCR, dan ingredient classification telah berkembang, semuanya masih berjalan terpisah. Untuk keperluan verifikasi halal, dibutuhkan integrasi ketiganya.

Dalam deteksi logo halal, belum ada dataset logo halal internasional yang komprehensif. Pada OCR, belum ada model yang benar-benar robust untuk kemasan multibahasa dan kondisi dunia nyata (Nagayi et al., 2025). Pada ingredient classification, penelitian masih terbatas secara domain dan belum mencakup bahan pangan global (Ramdania et al., 2022). Selain itu, belum ada pendekatan yang menggabungkan ketiga komponen ini dalam satu pipeline end-to-end. Gap inilah yang menjadi dasar kontribusi penelitian ini.

2.3.5 Relevansi Literatur terhadap Penelitian Ini

Literatur yang dibahas pada bagian ini memberikan konteks komprehensif tentang state-of-the-art dalam sistem deteksi untuk verifikasi halal. Penelitian deteksi objek (Aboyomi & Daniel, 2023; Alkentar et al., 2021; “Comparing YOLOv8, SSD, and Faster-RCNN for Real-Time Object Detection,” 2024) menunjukkan pendekatan tradisional berbasis training untuk logo detection, namun ketiadaan dataset logo halal internasional yang komprehensif menjadikan pendekatan zero-shot berbasis large multimodal model (2.3.1) sebagai alternatif yang lebih feasible untuk penelitian ini. Benchmark OCR (Nagayi et al., 2025) menunjukkan perlunya integrasi vision dan preprocessing untuk mengekstraksi teks secara akurat. Penelitian ingredient classification (Ramdania et al., 2022) menegaskan pentingnya dataset kaya dan representatif serta kebutuhan dukungan pengetahuan eksternal.

Yang paling penting, literatur memperlihatkan bahwa belum ada pendekatan terintegrasi yang menggabungkan vision-based recognition, OCR multibahasa, dan klasifikasi bahan dalam sebuah pipeline verifikasi halal end-to-end. Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan mengintegrasikan kemampuan multimodal GPT-5 untuk logo recognition dan OCR, dikombinasikan dengan web-retrieval untuk verifikasi bahan, serta XAI untuk transparansi keputusan.

2.4 Web-Retrieval untuk Verifikasi Bahan Pangan

Produk makanan kemasan sering menggunakan istilah teknis seperti lecithin, mono- and diglycerides, atau kode aditif seperti E471. Selain itu, banyak produk impor menuliskan bahan dalam bahasa lokal misalnya 猪油 (zhūyóu pork lard) atau ไขมันหมู (pork fat dalam bahasa Thai).

Kompleksitas ini membuat konsumen sulit memahami status kehalalan bahan hanya dengan membaca label. Meskipun OCR mampu mengekstraksi teks tersebut, interpretasi makna dan status halal memerlukan pengetahuan tambahan yang tidak tersedia di kemasan.

Karena itu, sistem verifikasi halal pada penelitian ini tidak hanya mengandalkan OCR, tetapi menggunakan web-retrieval untuk mengambil informasi eksternal yang relevan dan kredibel. Pendekatan ini merupakan mekanisme knowledge-grounded verification yang menggabungkan semantic retrieval, penilaian kredibilitas, dan kualitas dokumen untuk memastikan bahwa bahan diverifikasi berdasarkan sumber yang tepat, dapat dipercaya, dan sesuai konteks pangan.

2.4.1 Peran Web-Retrieval dalam Verifikasi Bahan Pangan

Banyak bahan pangan memiliki sifat ambigu yang tidak dapat diselesaikan hanya dengan ekstraksi teks. E471, misalnya, dapat berasal dari nabati (halal) maupun hewani (berpotensi haram); gelatin dapat berasal dari sapi halal, sapi non-halal, atau babi; sementara istilah asing seperti 猪油 dan ไน้หมู secara eksplisit merujuk pada lemak babi. Dalam kasus E471, label kemasan biasanya hanya mencantumkan kode aditif tanpa menjelaskan sumbernya, sehingga konsumen tidak dapat memastikan status kehalalannya hanya dari informasi visual yang tersedia.

Untuk mengatasi kompleksitas tersebut, web-retrieval harus melakukan empat fungsi kunci yang saling melengkapi. Pertama, sistem harus menemukan definisi bahan dari sumber terpercaya seperti situs regulator (BPJPH, JAKIM, EFSA, FDA) atau lembaga sertifikasi halal internasional. Hal ini penting karena definisi yang akurat menjadi dasar penilaian halal yang valid. Kedua, web-retrieval berfungsi menerjemahkan istilah multibahasa untuk mengidentifikasi bahan yang sama meskipun ditulis dalam berbagai bahasa misalnya, menghubungkan "猪油" (Mandarin), "pork lard" (Inggris), dan "lemak babi" (Indonesia) sebagai satu entitas yang haram. Ketiga, sistem harus mampu membedakan bahan yang bersifat ambigu dengan mencari informasi tambahan tentang sumber atau proses produksinya. Sebagai contoh, untuk kasus E471, sistem perlu mencari apakah produk tersebut menggunakan E471 nabati atau hewani berdasarkan informasi dari database bahan atau dokumentasi produsen. Keempat, web-retrieval harus memvalidasi informasi berdasarkan kredibilitas sumber untuk memastikan bahwa data yang digunakan berasal dari entitas yang memiliki otoritas dan tidak bias dalam penilaian kehalalan.

Dengan demikian, proses pencarian informasi eksternal menjadi bagian penting dari pipeline verifikasi halal melengkapi OCR dan vision model agar hasilnya akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Tanpa web-retrieval, sistem hanya dapat mendeteksi keberadaan teks pada kemasan, tetapi tidak dapat memberikan penilaian halal yang valid dan kontekstual.

2.4.2 Relevance & Credibility Filtering dalam Proses Pencarian

Lioma et al. (2017) menunjukkan bahwa mesin pencari modern sering mengembalikan hasil yang sangat relevan secara topik, tetapi tidak selalu kredibel. Mereka menemukan bahwa skor credibility-only pada lima hasil teratas Google berada pada kisaran 0.47–0.54, jauh lebih rendah daripada skor relevance-only (NDCG = 0.93). Untuk mengatasi ketimpangan tersebut, mereka memperkenalkan lima metrik gabungan relevansi–kredibilitas, dengan Normalized Weighted Cumulative Score (NWCS) menjadi yang paling efektif dengan skor 0.94 (Lioma et al., 2017). Metrik ini menunjukkan bahwa relevansi dan kredibilitas harus dinilai secara simultan, bukan sebagai proses terpisah.

Dalam konteks verifikasi bahan pangan, temuan ini sangat relevan. Banyak informasi terkait gelatin, lard, atau E476 yang bersumber dari blog pribadi, forum konsumen, atau situs komersial yang tidak kredibel. Sistem yang hanya mengandalkan relevansi topik berisiko mengambil informasi dari sumber yang bias, tidak terverifikasi, atau bahkan menyesatkan. Karena itu, sistem harus mampu menilai dua dimensi secara bersamaan: relevansi isi (apakah dokumen membahas bahan yang dicari?) dan kredibilitas sumber (apakah sumber tersebut memiliki otoritas untuk memberikan informasi halal?). Pendekatan ini memastikan pengguna tidak diarahkan pada informasi salah hanya karena halaman tersebut populer di mesin pencari atau memiliki SEO yang baik. Namun, kredibilitas konten saja tidak cukup kualitas teknis dokumen web juga berperan penting dalam menentukan keandalan informasi.

2.4.3 Kualitas Dokumen Web sebagai Indikator Keandalan

Selain kredibilitas konten yang telah dibahas di bagian 2.4.2, kualitas teknis struktur halaman web juga menjadi indikator keandalan yang independen namun komplementer. Aydın et al. (2024) menunjukkan bahwa 31 fitur kualitas dokumen HTML seperti keberadaan meta tag, struktur dokumen yang rapi, penggunaan HTTPS, konsistensi link internal, dan kepatuhan terhadap standar W3C dapat meningkatkan kinerja information retrieval secara signifikan. Peningkatan performa terlihat pada:

1. nDCG@10: 0.208 → 0.252 (+21.2%)

2. nDCG@20: 0.205 → 0.242 (+18.0%)
3. MAP: 0.1238 → 0.1483 (+19.8%)

pada dataset ClueWeb09A (Aydın, Arslan, & Dinçer, 2024). Hasil ini menunjukkan bahwa dokumen dengan kualitas teknis tinggi cenderung lebih dapat diandalkan sebagai sumber informasi.

Dalam verifikasi halal, perbedaan kualitas dokumen memiliki implikasi besar. Situs resmi regulator seperti BPJPH (Indonesia), JAKIM (Malaysia), EFSA (Eropa), atau FDA (Amerika) umumnya memiliki struktur berkualitas tinggi dengan metadata lengkap, protokol HTTPS, dan dokumentasi yang terstandarisasi. Sebaliknya, blog pribadi atau situs komersial yang tidak terverifikasi sering memiliki struktur buruk, metadata yang hilang, dan potensi bias komersial. Sebagai contoh, sebuah artikel dari situs resmi BPJPH yang membahas status E471 akan memiliki struktur HTML yang terorganisir, sumber referensi yang jelas, dan sertifikat SSL yang valid semua indikator teknis yang menunjukkan keandalan. Oleh karena itu, menilai kualitas dokumen sebelum menjadikannya dasar verifikasi sangat penting dalam mengurangi risiko informasi keliru. Penilaian kredibilitas konten (2.4.2) dan kualitas dokumen (2.4.3) dengan demikian bekerja sebagai dua layer filtering yang saling memperkuat: dokumen harus kredibel secara substansial dan berkualitas secara teknis untuk dijadikan referensi valid. Namun, relevansi dan kredibilitas saja tidak menyelesaikan masalah fundamental: bagaimana sistem memahami bahwa "pork fat", "猪油", dan "E901" merujuk pada konsep yang sama? Di sinilah semantic retrieval menjadi komponen krusial.

2.4.4 Semantic Retrieval untuk Memahami Istilah Bahan

Beberapa istilah bahan pangan tidak dapat dipahami secara literal atau melalui string matching sederhana. Kata "pork fat", "porcine fat", "猪油", "lard", dan kode aditif "E901" semuanya merujuk pada konsep yang sama lemak babi yang haram bagi konsumen Muslim. Namun, sistem berbasis keyword matching tradisional akan menganggap istilah-istilah ini sebagai entitas yang berbeda. Sementara itu, istilah seperti E471 memiliki berbagai kemungkinan sumber (nabati, hewani sapi, hewani babi) sehingga membutuhkan interpretasi semantik berdasarkan konteks dokumen yang ditemukan.

Untuk mengatasi keterbatasan ini, penelitian Sari et al. (2025) mengembangkan pendekatan lexical chain berbasis WordNet untuk menghubungkan sinonim, hiponim, kolokasi, dan hubungan semantik lain sehingga meningkatkan relevansi pencarian dalam jurnal SINTA (Sari & Razi, n.d.). Lexical chain adalah sekuens kata-kata yang saling terhubung

melalui relasi semantik, membentuk jaringan makna yang koheren. Misalnya, lexical chain untuk "pork lard" akan mencakup:

1. Sinonim langsung: "pork fat", "lard", "porcine fat"
2. Istilah multibahasa: "猪油" (Mandarin), "ไขมันหมู" (Thai), "lemak babi" (Indonesia)
3. Kode aditif terkait: "E901" (lilin lebah kadang dikontaminasi lemak babi)
4. Hiponim: "rendered pork fat", "leaf lard"

Dengan pendekatan ini, ketika sistem menemukan istilah "猪油" pada kemasan produk impor, lexical chain secara otomatis menghubungkannya dengan seluruh sinonim dan variasi penulisan, lalu mencari dokumen yang berisi salah satu dari istilah-istilah tersebut.

Dalam konteks verifikasi halal, semantic retrieval memungkinkan sistem untuk:

1. Menghubungkan istilah multibahasa ke makna yang sama, sehingga produk dari berbagai negara dapat diverifikasi dengan standar yang konsisten
2. Mengenali variasi penamaan bahan, termasuk nama dagang, nama ilmiah, dan kode aditif internasional
3. Memahami konteks penggunaan istilah, misalnya membedakan "gelatin" yang berasal dari sapi halal, sapi non-halal, atau babi berdasarkan informasi kontekstual dalam dokumen

Pendekatan ini memastikan bahwa sistem tidak hanya melakukan pencarian berbasis string, tetapi memahami makna bahan secara konseptual sebuah kemampuan yang esensial untuk verifikasi halal yang melibatkan produk global dengan berbagai bahasa dan sistem penamaan. Namun, kemampuan semantic processing yang canggih ini memerlukan infrastruktur retrieval yang stabil dan dapat diandalkan untuk beroperasi secara efektif dalam aplikasi real-time.

2.4.5 Implementasi Web-Retrieval dalam Sistem Nyata

Untuk mengintegrasikan seluruh komponen yang telah dibahas credibility filtering (2.4.2), document quality assessment (2.4.3), dan semantic retrieval (2.4.4) diperlukan infrastruktur pencarian yang stabil, cepat, dan dapat diandalkan. Penelitian ini menggunakan SERP (Search Engine Results Page) API sebagai backbone retrieval, dengan semantic processing dilakukan sebagai post-retrieval step untuk memperkaya dan memfilter hasil pencarian. SERP API dipilih karena menyediakan akses terstruktur ke hasil mesin pencari tanpa memerlukan web scraping yang rentan error dan pelanggaran terms of service.

Pencarian Terstruktur Berbasis SERP API

Purnama et al. (2023) menunjukkan bahwa SERP API dapat digunakan untuk membangun aplikasi mobile pencarian artikel akademik dengan stabilitas tinggi. Dalam pengujian mereka, seluruh fitur aplikasi termasuk query processing, result filtering, dan pembukaan dokumen PDF berjalan 100% tanpa error selama periode testing (Gita Purnama, Mahendra Djuanda, & Albart, 2023). Stabilitas ini sangat penting untuk aplikasi verifikasi halal yang memerlukan keandalan tinggi, karena error dalam proses retrieval dapat menyebabkan kesalahan identifikasi bahan yang berdampak pada keputusan konsumsi konsumen Muslim.

Pendekatan ini relevan bagi penelitian ini karena SERP API menawarkan beberapa keunggulan teknis:

1. Kecepatan: Response time rata-rata di bawah 2 detik untuk query sederhana
2. Stabilitas: Uptime 99.9% dengan error handling yang robust
3. Struktur data: Hasil terstruktur dalam format JSON yang mudah diproses
4. Cocok untuk real-time: Latensi rendah memungkinkan aplikasi mobile memberikan feedback instan kepada pengguna

Dalam pipeline sistem, SERP API digunakan untuk melakukan initial retrieval berdasarkan query yang telah diperkaya dengan lexical chains. Hasil yang dikembalikan kemudian difilter menggunakan metrik kredibilitas (2.4.2) dan kualitas dokumen (2.4.3) sebelum dipresentasikan kepada user atau digunakan sebagai dasar reasoning model.

Validasi Pipeline pada Data Real-World

Wibowo & Pratama (2024) memvalidasi keandalan pipeline berbasis SERP API pada data tidak terstruktur. Mereka memanfaatkan SERP API untuk mengambil 1.500 ulasan Google Review, kemudian melakukan preprocessing, ekstraksi fitur dengan TF-IDF, dan analisis sentimen menggunakan Stacking Classifier. Sistem ini mencapai akurasi 98% (Wibowo & Pratama, 2024), menunjukkan bahwa pipeline retrieval, preprocessing, analisis dapat diimplementasikan secara andal bahkan pada data yang highly unstructured dan noisy.

Hal ini sangat relevan untuk sistem verifikasi halal karena:

1. Data bahan pangan di web sangat tidak terstruktur: informasi tentang E471 bisa muncul dalam format tabel, paragraf naratif, PDF teknis, atau bahkan komentar forum
2. Preprocessing yang robust diperlukan: ekstraksi teks dari berbagai format HTML, normalisasi istilah, dan cleaning data menjadi tahap krusial

3. High accuracy achievable: dengan pipeline yang tepat, sistem dapat mencapai akurasi tinggi meskipun data sumbernya heterogen

Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa kombinasi SERP API dengan teknik NLP dan semantic processing dapat diandalkan untuk memverifikasi bahan yang diekstraksi dari kemasan, asalkan setiap tahap pipeline dirancang dengan cermat dan dilengkapi error handling yang memadai.

2.4.6 Keterbatasan Literatur dan Gap Penelitian

Meskipun literatur web-retrieval sangat kaya dan berkembang pesat, penelitian terdahulu memiliki beberapa keterbatasan signifikan ketika diterapkan untuk domain verifikasi kehalalan pangan.

Pertama, belum ada penelitian web-retrieval yang secara khusus dirancang untuk verifikasi halal. Literatur yang ada fokus pada pencarian akademik (Gita Purnama et al., 2023), analisis sentimen (Wibowo & Pratama, 2024), atau information retrieval umum (Aydın et al., 2024; Lioma et al., 2017), tetapi tidak mempertimbangkan karakteristik unik domain halal seperti: sensitivitas religius, kebutuhan kredibilitas tinggi, kompleksitas istilah multibahasa spesifik pangan, dan urgensi verifikasi real-time untuk konsumen Muslim.

Kedua, tidak ada integrasi antara OCR kemasan dan web-retrieval dalam literatur yang ada. Sistem OCR biasanya berhenti pada tahap text extraction, sementara web-retrieval bekerja pada query yang sudah jelas dan terstruktur. Padahal, produk global membutuhkan pipeline seamless yang dapat mengekstrak teks dari kemasan (termasuk yang multi-bahasa dan multi-font), mengidentifikasi entitas bahan, lalu memverifikasinya melalui pencarian eksternal sebuah kombinasi yang belum pernah diimplementasikan secara komprehensif.

Ketiga, semantic retrieval belum diterapkan untuk istilah bahan pangan. Penelitian Sari et al. (Sari & Razi, n.d.) menunjukkan efektivitas lexical chains untuk pencarian jurnal ilmiah, tetapi domain pangan memiliki kompleksitas berbeda: kode aditif internasional (E-numbers), nama dagang proprietari, istilah regional yang sangat beragam, dan perbedaan penamaan antara raw materials dan processed ingredients. Lexical chains untuk domain pangan memerlukan ontology khusus yang belum tersedia dalam literatur.

Keempat, belum ada framework kredibilitas khusus untuk domain bahan halal. Metrik kredibilitas umum seperti NWCS (Lioma et al., 2017) tidak mempertimbangkan otoritas spesifik halal misalnya, artikel dari lembaga sertifikasi halal (JAKIM, BPJPH) harus diberi

bobot lebih tinggi daripada artikel kesehatan umum yang juga kredibel tetapi tidak memiliki expertise di bidang kehalalan.

Kelima, tidak ada sistem yang menggabungkan retrieval dengan reasoning dan explainability (XAI) dalam domain halal. Sistem retrieval tradisional hanya mengembalikan dokumen relevan, tetapi tidak menjelaskan mengapa dokumen tersebut mendukung atau menolak status halal suatu bahan. Padahal, penjelasan ini krusial untuk membangun kepercayaan pengguna Muslim dan memungkinkan audit keputusan sistem.

Gap-gap ini menunjukkan bahwa pendekatan komprehensif seperti penelitian ini yang mengintegrasikan OCR, semantic retrieval, credibility filtering, dan XAI dalam satu pipeline terpadu sangat diperlukan untuk memajukan state-of-the-art dalam verifikasi kehalalan berbasis AI.

2.4.7 Relevansi terhadap Penelitian Ini

Pendekatan web-retrieval dalam penelitian ini menggabungkan empat komponen inti yang saling memperkuat:

1. Credibility filtering (2.4.2): memastikan informasi berasal dari sumber yang memiliki otoritas dalam penilaian halal
2. Document-quality assessment (2.4.3): menjamin keandalan teknis dokumen yang dijadikan referensi
3. Semantic lexical chains (2.4.4): memahami istilah bahan pangan secara konseptual, bukan hanya literal
4. SERP API retrieval (2.4.5): menyediakan infrastruktur pencarian yang stabil dan real-time

Keempat komponen ini diintegrasikan dalam pipeline yang unified: ketika vision model mengekstraksi bahan dari kemasan (misalnya "E471" atau "猪油"), sistem membangun lexical chain untuk istilah tersebut, melakukan retrieval melalui SERP API, kemudian memfilter hasil berdasarkan kredibilitas konten dan kualitas dokumen sebelum menggunakannya sebagai basis verifikasi halal.

Penting untuk dicatat bahwa pendekatan ini berbeda dari Retrieval-Augmented Generation (RAG) sebuah paradigma yang menggunakan dense retrieval dari vector databases dan large language models untuk menghasilkan jawaban generatif. RAG memerlukan infrastruktur komputasi berat (embedding models, vector stores seperti Pinecone atau Weaviate, dan LLM inference) yang tidak cocok untuk aplikasi mobile real-time. Sebaliknya, penelitian ini

menggunakan pendekatan hybrid yang lebih ringan: SERP API untuk sparse retrieval, lexical chains untuk semantic matching, dan rule-based filtering untuk kredibilitas kombinasi yang mencapai akurasi tinggi dengan footprint komputasi yang jauh lebih rendah dan latensi yang acceptable untuk mobile deployment.

Dengan cara ini, setiap bahan yang diekstraksi dari kemasan dapat diverifikasi berdasarkan informasi kredibel dan kontekstual dari web, dan hasilnya dapat dijelaskan kembali kepada pengguna melalui XAI (Bab 2.1). Penjelasan ini mencakup: (1) sumber informasi yang digunakan (dengan link dan kredibilitas score), (2) reasoning tentang mengapa bahan dianggap halal/haram berdasarkan dokumen yang ditemukan, dan (3) visualisasi area kemasan yang mempengaruhi keputusan (GradCAM dari Bab 2.1.3).

Pendekatan ini menjadikan web-retrieval bukan sekadar komponen pendukung, tetapi komponen fundamental dalam pipeline verifikasi halal berbasis AI sebuah bridge antara visual information dari kemasan dan external knowledge yang diperlukan untuk membuat keputusan halal yang valid, transparan, dan dapat dipertanggungjawabkan.

2.5 Positioning Penelitian dan Sintesis Literatur

Bagian ini menyajikan sintesis lintas-domain dari seluruh temuan literatur pada Subbab 2.1–2.4 untuk mengidentifikasi posisi penelitian ini dalam lanskap riset terkini. Sintesis dilakukan dengan menggabungkan temuan dari bidang Explainable AI (XAI), aplikasi halal, sistem deteksi kemasan (vision dan OCR), serta web-retrieval. Dari sintesis tersebut disusun analisis kesenjangan penelitian (research gap) dan dirumuskan kontribusi penelitian dalam tiga dimensi: teknis, teoretis, dan praktis.

Bagian ini menjadi fondasi konseptual yang mengarahkan desain arsitektur dan metodologi yang dijelaskan pada Bab 3.

2.5.1 Sintesis Lintas Domain

Keempat domain XAI, aplikasi halal, vision–OCR detection, dan web-retrieval telah mengalami perkembangan pesat, tetapi perkembangannya berlangsung secara terpisah dan belum diarahkan untuk menyelesaikan permasalahan verifikasi halal pada produk makanan kemasan. Tabel berikut merangkum posisi penelitian terkini dan relevansinya terhadap domain halal:

Tabel 2.4 Sintesis Lintas Domain

Domain	State-of-the-Art	Keterbatasan Utama	Kebutuhan Domain Halal	Positioning Penelitian Ini
XAI	GradCAM stabil pada model vision; SHAP paling konsisten untuk penjelasan fitur	Tidak diterapkan pada konteks halal; reasoning belum pada level bahan	Penjelasan visual dan tekstual yang dapat diverifikasi; traceability ke sumber kredibel	Menggunakan intrinsic explainability GPT-5 untuk penjelasan natural language + knowledge grounding melalui web-retrieval citation
Halal Application	PCR, FTIR, e-nose sangat akurat	Tidak portable; tidak dapat digunakan pada kemasan	Solusi konsumen melalui perangkat mobile	Vision + OCR + web-retrieval sebagai pendekatan non-lab
Text-Based Halal Classification	RF/SVM mencapai 85% pada dataset kecil	Tidak multibahasa; tidak menangani E-number	Interpretasi bahan multilingual	OCR. normalisasi istilah, verifikasi melalui web
System Detection (Vision)	YOLO/SSD/Faster R-CNN handal	Tidak ada dataset logo halal internasional	Deteksi logo halal lintas negara	Adaptasi model deteksi objek untuk logo halal
OCR Kemasan	Tesseract/EasyOCR/PaddleOCR; performa rendah pada packaging	Error tinggi pada glare, font kecil, dan layout kompleks	OCR robust untuk kemasan real-world	Preprocessing, region detection .OCR terpadu

Web-Retrieval	Relevance–credibility metrics; semantic retrieval	Belum diarahkan untuk bahan pangan	Verifikasi bahan berbasis sumber kredibel	Hybrid retrieval berbasis API. semantic filtering
Integrasi Sistem	Komponen penelitian masih terpisah	Tidak ada pipeline end-to-end	Sistem terpadu yang mudah digunakan konsumen	Vision → OCR → Retrieval → XAI

2.5.2 Gap Fundamental yang Teridentifikasi

Sintesis literatur lintas-domain menegaskan adanya beberapa gap utama yang belum diatasi oleh penelitian sebelumnya:

- a. Tidak adanya sistem verifikasi halal end-to-end berbasis kemasan

Seluruh penelitian sebelumnya hanya menangani sebagian masalah deteksi objek, OCR, atau klasifikasi bahan tanpa integrasi menyeluruh. Padahal verifikasi halal memerlukan pipeline lengkap dari citra hingga reasoning.

- b. Minimnya integrasi Vision–OCR–Retrieval–XAI

Tidak ditemukan penelitian yang menggabungkan keempat pilar ini dalam satu arsitektur operasional. Padahal konsumen membutuhkan verifikasi cepat dan dapat dijelaskan.

- c. Ketiadaan mekanisme robust untuk istilah multibahasa dan E-number

Penelitian NLP halal terdahulu menggunakan dataset kecil, monolingual, dan tanpa konteks global, sehingga tidak dapat diterapkan untuk produk internasional.

- d. Web-retrieval belum dikontekstualisasikan untuk bahan pangan halal

Studi IR yang ada berfokus pada dokumen umum (jurnal, blog, ulasan), belum diarahkan untuk interpretasi bahan pangan dan kode aditif secara spesifik.

- e. XAI belum menjelaskan keputusan halal pada level bahan

Penelitian XAI pada domain umum belum menghasilkan mekanisme penjelasan yang sesuai dengan kebutuhan halal, yaitu penjelasan yang dapat diverifikasi oleh pengguna dan berbasis sumber.

Gap-gap ini menunjukkan kebutuhan pendekatan baru yang menyatukan komponen teknis dan epistemologis dalam satu sistem terpadu yakni apa yang ditawarkan oleh penelitian ini.

2.5.3 Kontribusi Penelitian

Kontribusi penelitian ini dibagi ke dalam tiga dimensi: teknis, teoretis, dan praktis, sebagaimana dijelaskan berikut.

Kontribusi Teknis

- a. Pengembangan pipeline end-to-end yang mengintegrasikan zero-shot vision recognition, OCR multibahasa, web-retrieval, dan XAI untuk verifikasi halal berbasis kemasan menggunakan large multimodal model (GPT-5).
- b. Penerapan hybrid web-retrieval yang memadukan SERP API, semantic lexical chain, dan credibility filtering sebagai mekanisme knowledge grounding untuk verifikasi berbasis sumber eksternal.
- c. Implementasi intrinsic explainability berbasis natural language ini mencakup deskripsi visual yang eksplisit untuk logo dan elemen kemasan, penyajian reasoning chain yang terstruktur dalam menentukan status bahan (halal atau haram), serta mekanisme traceability melalui pencantuman sitasi dari sumber web yang kredibel seperti BPJPH, JAKIM, dan OpenFoodFacts.

Kontribusi Teoretis

- a. Formulasi konsep "knowledge-grounded halal verification", yaitu kerangka teoretis yang memandang verifikasi halal sebagai proses multimodal dan multisumber yang menggabungkan pemahaman visual, reasoning berbasis bahasa natural, dan grounding eksternal dari sumber otoritatif.
- b. Adaptasi metrik relevance-credibility dan document-quality assessment dari bidang Information Retrieval ke dalam domain verifikasi pangan halal.
- c. Penguatan perspektif XAI sebagai komponen etis dan religius dalam konteks keputusan halal, di mana transparansi dan traceability menjadi imperatif moral untuk membangun kepercayaan komunitas Muslim.

Kontribusi Praktis

- a. Prototipe sistem verifikasi halal berbasis kemasan yang dapat digunakan oleh konsumen secara real-time melalui perangkat mobile.
- b. Akses informasi halal yang lebih transparan, karena pengguna dapat melihat alasan keputusan dan sumber yang digunakan sistem.

- c. Fondasi untuk pengembangan sistem regulatif digital yang dapat diadopsi oleh BPJPH, JAKIM, industri makanan, atau platform e-commerce.

Keseluruhan literatur menunjukkan bahwa verifikasi halal merupakan permasalahan kompleks yang membutuhkan integrasi antara vision recognition, OCR multibahasa, web-retrieval berbasis kredibilitas, dan explainable reasoning. Penelitian ini memberikan kontribusi substantif dengan menyatukan keempat komponen dalam satu arsitektur sistem berbasis large multimodal model (GPT-5) yang pragmatis, transparan, dan dapat digunakan secara langsung oleh konsumen tanpa memerlukan infrastruktur training atau dataset logo halal yang komprehensif.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan evaluasi sistem berbasis studi kasus, dengan tujuan menilai kinerja pipeline verifikasi halal yang dibangun melalui integrasi model multimodal GPT-5 dan mekanisme web-retrieval menggunakan SERP API. Pendekatan ini dipilih karena studi kasus memungkinkan analisis performa sistem secara mendalam pada skenario dunia nyata yang bersifat kompleks dan beragam. Seluruh proses pemahaman visual meliputi OCR, pembacaan teks kemasan, deteksi logo halal, identifikasi elemen visual penting, dan translasi dilakukan secara zero-shot oleh GPT-5, yang sebelumnya terbukti efektif untuk evaluasi multimodal tanpa fine-tuning sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Wang et al. (2025) (Wang et al., 2025).

Evaluasi pipeline dilakukan melalui lima tahapan utama, yaitu:

1. Pemahaman visual kemasan, mencakup deteksi logo halal dan identifikasi teks komposisi.
2. Ekstraksi dan normalisasi daftar bahan, untuk mengubah hasil OCR menjadi struktur bahan terstandardisasi.
3. Verifikasi bahan melalui web-retrieval, menggunakan strategi query terstruktur melalui SERP API.
4. Reasoning halal atau haram, dengan menggabungkan bukti visual, teks, dan hasil pencarian berbasis pengetahuan.
5. Penyediaan penjelasan (XAI) yang memberikan justifikasi keputusan sistem secara transparan dan dapat ditelusuri.

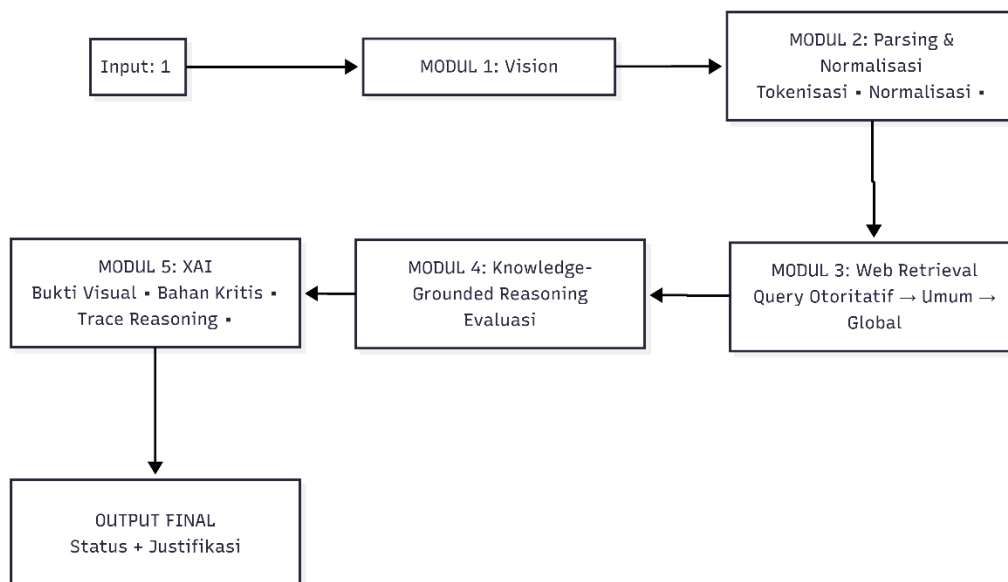
Studi kasus ini diterapkan pada 100 sampel produk autentik yang diklasifikasikan ke dalam empat kategori evaluasi, yaitu produk halal dengan logo resmi (true positive), produk halal tanpa logo (false negative), produk haram tanpa logo (true negative), serta produk haram dengan logo yang tidak sah (false positive). Pembagian kategori tersebut mengikuti pendekatan evaluasi pipeline end-to-end yang umum digunakan dalam penelitian OCR dunia nyata, khususnya pada studi ekstraksi teks kemasan produk makanan sebagaimana dilaporkan oleh Nagayi et al. (2025) (Nagayi et al., 2025).

Selain itu, penerapan studi kasus ini juga selaras dengan metodologi proof-of-concept pada sistem multimodal berbasis reasoning dan explainable AI (XAI) vision (Mastroianni & Sager-

Müller, n.d.). Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini mampu mengevaluasi performa sistem secara komprehensif, mencakup aspek teknis seperti akselerasi pemrosesan, ketepatan OCR, dan relevansi hasil pencarian, serta aspek konseptual yang meliputi akurasi reasoning, konsistensi penentuan status halal-haram, dan transparansi penjelasan yang dihasilkan sistem. Dengan demikian, pendekatan ini memberikan landasan metodologis yang kuat untuk menilai kelayakan sistem verifikasi halal berbasis kecerdasan buatan dalam skenario penggunaan sehari-hari.

3.2 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem dalam penelitian ini dirancang sebagai pipeline multimodal terintegrasi yang menggabungkan kemampuan pemahaman visual GPT-5 dengan mekanisme web-retrieval melalui SERP API. Pipeline ini berfungsi untuk membaca informasi visual pada kemasan, mengekstraksi dan menormalisasi daftar bahan, memverifikasi status bahan melalui pencarian web, serta menghasilkan keputusan halal-haram-syubhat yang disertai penjelasan transparan. Secara umum, sistem terdiri dari lima modul utama: Modul Vision, Parsing dan Normalisasi, Web-Retrieval, Knowledge-Grounded Reasoning, dan Explainable AI (XAI)



Gambar 3.1 Arsitektur Sistem

3.2.1 Modul Vision

Modul Vision bertugas membaca gambar kemasan dan mengekstraksi seluruh elemen penting, termasuk logo halal, nama produk, teks komposisi, simbol, dan atribut visual lainnya.

GPT-5 digunakan untuk melakukan OCR, deteksi logo, pengenalan bahasa, serta translasi internal secara zero-shot.

Kemampuan multimodal GPT-5 yang digunakan dalam penelitian ini didukung oleh temuan mengenai performa reasoning visual GPT-5 pada domain kompleks seperti analisis medis (Wang et al., 2025), serta kesesuaiannya dengan tantangan OCR kemasan makanan yang dibahas dalam penelitian tentang label kemasan di Afrika Selatan (Nagayi et al., 2025). Modul ini menjadi komponen awal yang menyediakan pondasi informasi bagi proses parsing dan reasoning selanjutnya.

3.2.2 Modul Parsing dan Normalisasi

Setelah teks berhasil diekstraksi oleh Modul Vision, sistem melakukan parsing untuk mengubah teks mentah menjadi daftar bahan terstruktur. Proses ini terdiri dari tokenisasi istilah, normalisasi penulisan, penyamaan sinonim bahan, dan identifikasi bahan yang berpotensi kritis.

Teknik ini sejalan dengan pendekatan preprocessing berbasis NLP yang digunakan dalam penelitian lexical-chain untuk Information Retrieval (Sari & Razi, n.d.), yang menekankan pentingnya normalisasi istilah agar sistem dapat bekerja konsisten meskipun terdapat variasi penamaan bahan pada kemasan.

3.2.3 Modul Web-Retrieval (SERP API)

Modul ini digunakan untuk memperoleh informasi eksternal mengenai status bahan, terutama pada kasus ketika daftar bahan tidak tersedia langsung pada kemasan

Query terstruktur dikirim ke SERP API untuk mengambil sumber-sumber relevan seperti situs resmi produk, Wikipedia, dan basis data makanan. Hasil pencarian kemudian disaring berdasarkan kredibilitas, relevansi, dan konsistensi isi. Mekanisme web-retrieval ini memperkaya konteks yang diperlukan oleh GPT-5 untuk melakukan reasoning, serta memastikan keputusan tidak hanya mengandalkan bukti visual.

3.2.4 Modul Knowledge-Grounded Reasoning

Modul ini menjadi inti dari sistem, di mana GPT-5 menggabungkan berbagai sumber informasi visual, daftar bahan, hasil pencarian web, serta basis pengetahuan internal untuk menentukan status halal, haram, atau syubhat.

Kemampuan reasoning GPT-5 didukung oleh arsitektur hierarchical routing yang memungkinkan model mengelola konteks dengan lebih efisien (Leon, 2026), serta performa chain-of-thought reasoning yang telah diuji secara luas dalam benchmark multimodal (Wang et al., 2025).

Output dari modul ini berupa keputusan status bahan dan kesimpulan akhir status produk secara keseluruhan.

3.2.5 Modul Explainable AI (XAI)

Modul Explainable Artificial Intelligence (XAI) berfungsi untuk memberikan penjelasan yang dapat ditelusuri, dipahami, dan dipertanggungjawabkan atas setiap keputusan yang dihasilkan sistem. Modul ini dirancang berdasarkan tiga sifat utama XAI, yaitu transparency, interpretability, dan explainability.

Transparency diwujudkan melalui penyediaan bukti visual yang relevan dari kemasan produk, sumber informasi yang digunakan dalam verifikasi bahan, ringkasan hasil penelusuran web, serta referensi hukum Islam (dalil) yang menjadi dasar pertimbangan sistem. Selain itu, sistem menampilkan alur penalaran (reasoning steps) dan skor keyakinan (confidence score) untuk menunjukkan dasar dan tingkat kepastian keputusan yang dihasilkan.

Interpretability diwujudkan dengan penyajian hasil verifikasi dalam bentuk yang mudah dipahami oleh pengguna non-teknis, seperti status halal/haram/syubhat yang disajikan secara visual, penjelasan dalam bahasa natural, kategorisasi bahan yang jelas, serta indikator tingkat keyakinan yang bersifat intuitif. Pendekatan ini memastikan bahwa pengguna dapat memahami hasil sistem tanpa memerlukan pengetahuan teknis mengenai kecerdasan buatan.

Prinsip *explainability* diwujudkan melalui kemampuan sistem untuk menjelaskan alasan di balik keputusan secara logis dan terstruktur. Penjelasan yang dihasilkan mencakup identifikasi bahan-bahan yang berpengaruh signifikan terhadap keputusan akhir, penjelasan status masing-masing bahan beserta alasannya, serta alur penalaran yang ditempuh oleh model dalam menyimpulkan status kehalalan produk. Pada kasus tertentu yang melibatkan perbedaan pandangan hukum Islam, sistem juga menampilkan perspektif perbandingan pendapat antar madzhab sebagai bagian dari justifikasi keputusan. Perspektif perbandingan madzhab ini merujuk pada literatur fikih komparatif, khususnya kitab *Fikih Empat Madzhab* karya Syaikh Abdurrahman Al-Juzairi (Al-Juzairi, 2015), yang menyajikan pandangan mazhab Hanafi, Maliki, Syafi'i, dan Hanbali secara sistematis terhadap suatu permasalahan fikih. Penyajian perbandingan ini tidak dimaksudkan untuk menetapkan fatwa, melainkan untuk memberikan

konteks hukum yang lebih komprehensif kepada pengguna dalam memahami dasar pengambilan keputusan sistem.

Pendekatan XAI ini selaras dengan sistem vision modern yang menekankan transparansi, keterpahaman, dan penjelasan keputusan (Mastroianni & Sager-Müller, n.d.), serta berperan penting dalam meningkatkan kepercayaan pengguna dengan memastikan bahwa sistem tidak hanya menghasilkan keputusan, tetapi juga mampu menjelaskan dasar pengambilan keputusan tersebut secara jelas dan bertanggung jawab.

3.2.6 Alur Kerja Sistem (End-to-End Flow)

Secara keseluruhan, pipeline bekerja melalui integrasi kelima modul yang telah dijelaskan sebelumnya untuk menghasilkan sistem verifikasi halal yang komprehensif dan dapat dipertanggungjawabkan. Proses dimulai ketika pengguna mengunggah gambar kemasan produk ke dalam sistem, yang kemudian memicu serangkaian tahapan pemrosesan yang saling terhubung secara sistematis.

Pada tahap awal, GPT-5 melakukan analisis visual terhadap gambar kemasan yang diunggah, mengekstraksi seluruh informasi penting yang mencakup nama produk, keberadaan logo halal beserta tingkat keasliannya, teks komposisi bahan yang tertera, serta elemen visual relevan lainnya seperti simbol dan struktur label. Kemampuan model untuk membaca teks multibahasa dan melakukan translasi internal secara zero-shot memastikan bahwa informasi dapat diperoleh tanpa memerlukan preprocessing manual yang kompleks.

Setelah informasi visual berhasil diekstraksi, sistem melanjutkan ke tahap parsing dan normalisasi bahan melalui modul yang telah dirancang khusus untuk menstandarisasi berbagai variasi penamaan bahan. Proses ini melibatkan tokenisasi istilah, normalisasi penulisan yang bervariasi, penyamaan istilah sinonim dari berbagai bahasa, serta identifikasi bahan-bahan kritis yang memerlukan perhatian khusus dalam konteks kehalalan. Hasil dari tahap ini adalah daftar bahan terstruktur yang siap digunakan untuk proses reasoning.

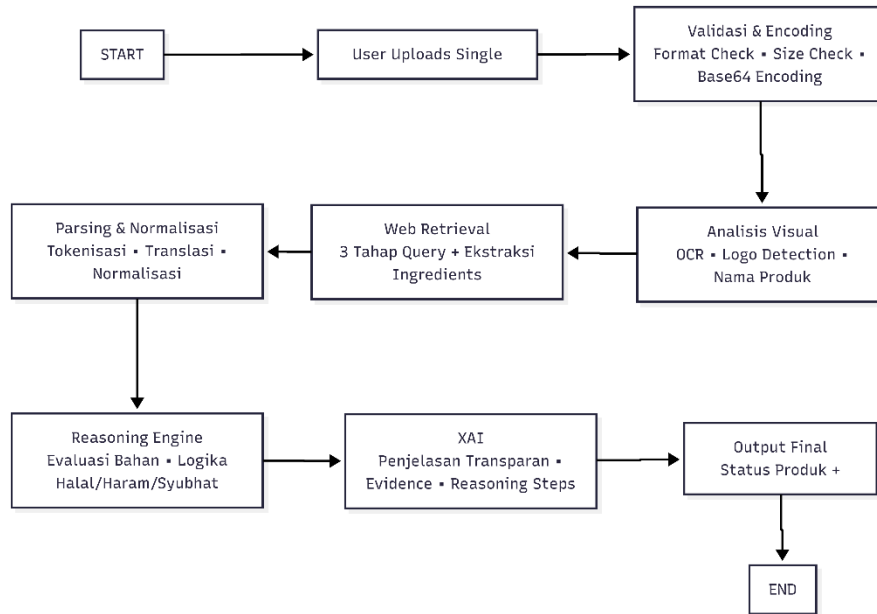
Dalam skenario di mana informasi komposisi bahan tidak tersedia secara lengkap pada kemasan khususnya pada mode input gambar tunggal sistem mengaktifkan modul Web-Retrieval melalui SERP API untuk memperoleh informasi tambahan dari sumber eksternal. Proses pencarian dilakukan secara bertahap dengan strategi yang telah dirancang untuk memprioritaskan sumber-sumber kredibel, dimulai dari pencarian pada situs resmi produsen dan database makanan terpercaya, kemudian beralih ke pencarian umum jika diperlukan, dan akhirnya melakukan pencarian global untuk produk internasional. Snippet hasil pencarian

kemudian diekstraksi dan dinormalisasi untuk melengkapi konteks informasi yang diperlukan dalam reasoning.

Dengan tersedianya bukti visual dari modul Vision, daftar bahan yang telah dinormalisasi, serta informasi hasil web-retrieval sebagai konteks tambahan, sistem kemudian menjalankan tahap knowledge-grounded reasoning melalui GPT-5. Pada tahap krusial ini, model memadukan seluruh sumber informasi yang tersedia termasuk pengetahuan internal yang dimilikinya mengenai aturan kehalalan untuk melakukan analisis komprehensif terhadap setiap bahan yang teridentifikasi. Proses reasoning menghasilkan dua level keputusan: pertama, status individual untuk setiap bahan (halal, haram, atau syubhat), dan kedua, status keseluruhan produk berdasarkan agregasi dari analisis bahan-bahan tersebut.

Tahap akhir dari pipeline adalah pembentukan penjelasan melalui modul Explainable AI (XAI), yang menyusun justifikasi transparan dan dapat ditelusuri untuk setiap keputusan yang dihasilkan sistem. Modul ini mengintegrasikan berbagai elemen bukti yang mencakup area visual yang relevan pada kemasan, daftar bahan spesifik yang menjadi dasar keputusan, ringkasan hasil pencarian web yang mendukung analisis, langkah-langkah reasoning yang ditempuh model, referensi konsep hukum Islam atau literatur bahan kritis jika berlaku, serta skor keyakinan model terhadap keputusan yang diambil. Komponen penjelasan ini memastikan bahwa sistem tidak hanya memberikan hasil prediksi, tetapi juga menyediakan landasan yang dapat dipahami dan dievaluasi oleh pengguna.

Output final yang diberikan kepada pengguna berupa paket informasi lengkap yang terdiri dari hasil verifikasi status kehalalan produk, justifikasi berbasis bukti yang komprehensif, serta referensi sumber yang digunakan dalam pengambilan keputusan. Arsitektur terintegrasi ini memastikan bahwa sistem tidak hanya mengandalkan prediksi model semata, tetapi juga memanfaatkan grounding informasi eksternal untuk menghasilkan evaluasi halal yang lebih akurat, dapat dipertanggungjawabkan, dan memiliki transparansi yang tinggi sesuai dengan prinsip-prinsip sistem AI yang bertanggung jawab.



Gambar 3.2 Pipeline Flow end-to-end

```

ALGORITMA PipeLine(frontImage, userLocation)
// =====
// TAHAP 1: VALIDASI INPUT DAN PREPARASI DATA
// =====

// Validasi parameter input
IF userLocation = NULL OR userLocation = "" THEN
    RETURN ERROR("Parameter lokasi wajib diisi")
END IF

IF frontImage = NULL OR NOT VALID_IMAGE_FORMAT(frontImage) THEN
    RETURN ERROR("Gambar kemasan depan wajib diunggah dengan format yang valid")
END IF

// Konversi gambar ke format Base64 untuk transmisi ke layanan AI
frontImageBase64 ← ENCODE_TO_BASE64(frontImage)

// Inisialisasi variabel
productName ← ""
ingredientList ← []
webEvidence ← ""
knownIngredientsContext ← ""
dalilContext ← ""

// =====
// TAHAP 2: <Modul Vision>
  
```

```

// =====

// Ekstraksi nama produk menggunakan AI Vision
extractionPrompt ← "Identifikasi dan ekstrak nama produk dari gambar kemasan
depan"
visionResult ← CALL_AI_VISION_SERVICE(frontImageBase64, extractionPrompt)

productName ← EXTRACT_PRODUCT_NAME(visionResult)

// =====
// TAHAP 3: <Modul Web Retrieval>
// =====

// Pencarian informasi produk dari web (jika API tersedia)
IF webSearchAPIKey ≠ NULL AND productName ≠ "" THEN
  // Deteksi asal produk untuk optimasi pencarian
  productOrigin ← DETECT_PRODUCT_ORIGIN(productName)

  // Konfigurasi parameter pencarian berdasarkan asal produk
  IF productOrigin ≠ NULL THEN
    searchOptions ← BUILD_SEARCH_OPTIONS_FOR_COUNTRY(productOrigin)
  ELSE
    searchOptions ← BUILD_DEFAULT_SEARCH_OPTIONS(userLocation)
  END IF

  // Eksekusi pencarian web dengan strategi bertingkat
  // Strategi: query bertingkat dengan prioritas sumber otoritatif
  webSnippets ← EXECUTE_TIERED_WEB_SEARCH(productName, searchOptions)

// =====
// TAHAP 4: <Modul Knowledge-Grounded Reasoning dan Modul Parsing dan Normalisasi>
// =====

// Ekstraksi daftar bahan dari hasil pencarian menggunakan AI
IF LENGTH(webSnippets) > 0 THEN
  combinedText ← CONCATENATE_SNIPPETS(webSnippets)

  extractionPrompt ← "Ekstrak daftar bahan/ingredients dari teks berikut"
  extractionResult ← CALL_AI_TEXT_SERVICE(extractionPrompt, combinedText)

  IF extractionResult["ingredients"] ≠ NULL THEN
    ingredientList ← extractionResult["ingredients"]

```

```

        END IF

        // Format bukti dari web untuk digunakan dalam analisis
        webEvidence ← FORMAT_WEB_EVIDENCE(webSnippets)
    END IF
END IF

// Konstruksi konteks untuk AI dari bahan yang sudah diketahui
knownIngredientsContext,          dalilContext ←
BUILD_INGREDIENT_AND_DALIL_CONTEXT(knownIngredients)

// =====
// TAHAP 5: <Modul XAI>
// =====

IF webEvidence ≠ "" THEN
    // Query database vektor (Pinecone) untuk referensi madzhab
    madzhabQuery ← CONSTRUCT_MADZHAB_QUERY(productName, webEvidence)
    madzhabReferences ← QUERY_VECTOR_DATABASE(madzhabQuery, maxResults: 5)

    // Eksekusi 4 analisis secara bersamaan (concurrent processing)
    // 1. Core Analysis: status, reason, dalil, suggestions
    // 2. Ingredient Analysis: analisis bahan dari konteks web
    // 3. Visual Analysis: analisis informasi visual dari gambar
    // 4. Madzhab Comparison: perbandingan pendapat 4 madzhab fikih

    coreResult, ingredientResult, visualResult, madzhabResult ←
        EXECUTE_CONCURRENT_ANALYSIS(
            frontImageBase64,
            webEvidence,
            knownIngredientsContext,
            dalilContext,
            madzhabReferences,
            userLocation
        )

    // Penggabungan hasil dari semua analisis
    result ← MERGE_ANALYSIS_RESULTS(coreResult, ingredientResult, visualResult,
madzhabResult)

    // Generate saran alternatif jika status haram
    IF result["status"] = "haram" AND result["suggest"] = NULL THEN

```

```

    suggestionPrompt ← CONSTRUCT_SUGGESTION_PROMPT(result, userLocation)
    suggestionResult ← CALL_AI_TEXT_SERVICE(suggestionPrompt, result)
    result["suggest"] ← suggestionResult["suggest"]
  END IF
END ALGORITMA

```

Gambar 3.3 Pseudocode Logika flow pipeline

3.2.7 Antarmuka Pengguna dan Implementasi Mobile

Sistem verifikasi kehalalan yang dikembangkan dalam penelitian ini diimplementasikan dalam bentuk aplikasi mobile yang berfungsi sebagai antarmuka utama antara pengguna dan sistem kecerdasan buatan. Aplikasi mobile dirancang sebagai platform terpadu yang menyediakan berbagai fitur pendukung kebutuhan konsumen Muslim dalam menemukan dan memverifikasi makanan halal, baik pada konteks produk kemasan maupun restoran.

Meskipun aplikasi mobile mencakup beberapa fitur tambahan yang bersifat pendukung, fokus utama penelitian ini tetap berada pada modul pemindaian (scan) produk makanan kemasan, sebagaimana tercermin dalam judul dan tujuan penelitian. Fitur-fitur lain disertakan untuk membangun konteks penggunaan sistem yang lebih realistis, namun tidak menjadi objek evaluasi utama dalam penelitian ini.

Arsitektur Aplikasi dan Ecosystem Features

Aplikasi mobile dikembangkan menggunakan framework Flutter untuk mendukung pengembangan lintas platform (Android dan iOS). Dalam arsitektur sistem, aplikasi mobile berperan sebagai client-side application yang menyediakan antarmuka interaksi pengguna, sementara seluruh proses analisis berbasis kecerdasan buatan dijalankan pada sisi server.

Secara fungsional, aplikasi mobile menyediakan beberapa fitur utama dalam ekosistem aplikasi, yaitu:

- a. Login dan Register, digunakan untuk autentikasi pengguna serta pengelolaan identitas pengguna dalam sistem.
- b. Pencarian Restoran Halal Terdekat, yang memungkinkan pengguna menemukan restoran halal di sekitar lokasi pengguna.
- c. Analisis Restoran, yang menyediakan informasi ringkas mengenai status kehalalan restoran berdasarkan data yang tersedia.

- d. Chat AI Pencarian Makanan Halal, yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan sistem berbasis AI untuk memperoleh rekomendasi makanan halal di sekitar lokasi pengguna.
- e. Scan Produk Makanan Kemasan, yang memungkinkan pengguna mengambil gambar kemasan produk untuk dilakukan verifikasi kehalalan secara otomatis.
- f. Riwayat Pemindaian (History Scan), yang menyimpan hasil pemindaian produk kemasan yang pernah dilakukan pengguna.
- g. Bookmark Restoran, yang memungkinkan pengguna menyimpan restoran halal yang dianggap relevan untuk diakses kembali.

Fitur-fitur tersebut membentuk satu kesatuan ekosistem aplikasi yang mendukung kebutuhan pengguna, namun masing-masing memiliki peran yang berbeda dalam konteks penelitian.

Fokus Penelitian: Modul Scan Produk Kemasan

Dari seluruh fitur yang tersedia pada aplikasi mobile, modul scan produk makanan kemasan merupakan fokus utama penelitian ini. Modul ini secara langsung merepresentasikan kontribusi ilmiah penelitian, yaitu pengembangan sistem verifikasi kehalalan berbasis integrasi computer vision, web-retrieval, dan explainable artificial intelligence (XAI).

Penelitian ini secara khusus menganalisis dan mengevaluasi proses yang terjadi pada modul scan produk kemasan, yang mencakup:

- a. pengambilan gambar kemasan produk
- b. analisis visual kemasan untuk mendeteksi logo halal dan teks komposisi
- c. verifikasi bahan melalui penelusuran informasi daring
- d. penalaran status kehalalan produk
- e. serta penyajian penjelasan transparan kepada pengguna

Fitur-fitur lain seperti pencarian restoran halal, analisis restoran, chat AI, login, riwayat pemindaian, dan bookmark restoran tidak dianalisis secara teknis maupun dievaluasi performanya dalam penelitian ini. Fitur-fitur tersebut diperlakukan sebagai fitur pendukung yang bertujuan untuk memberikan konteks penggunaan aplikasi secara lebih realistis dan komprehensif.

Alur Interaksi Verifikasi Produk Kemasan

Alur interaksi utama yang dianalisis dalam penelitian ini berfokus pada proses verifikasi produk makanan kemasan melalui aplikasi mobile. Proses dimulai ketika pengguna mengakses fitur scan produk kemasan dan mengambil gambar kemasan menggunakan kamera perangkat.

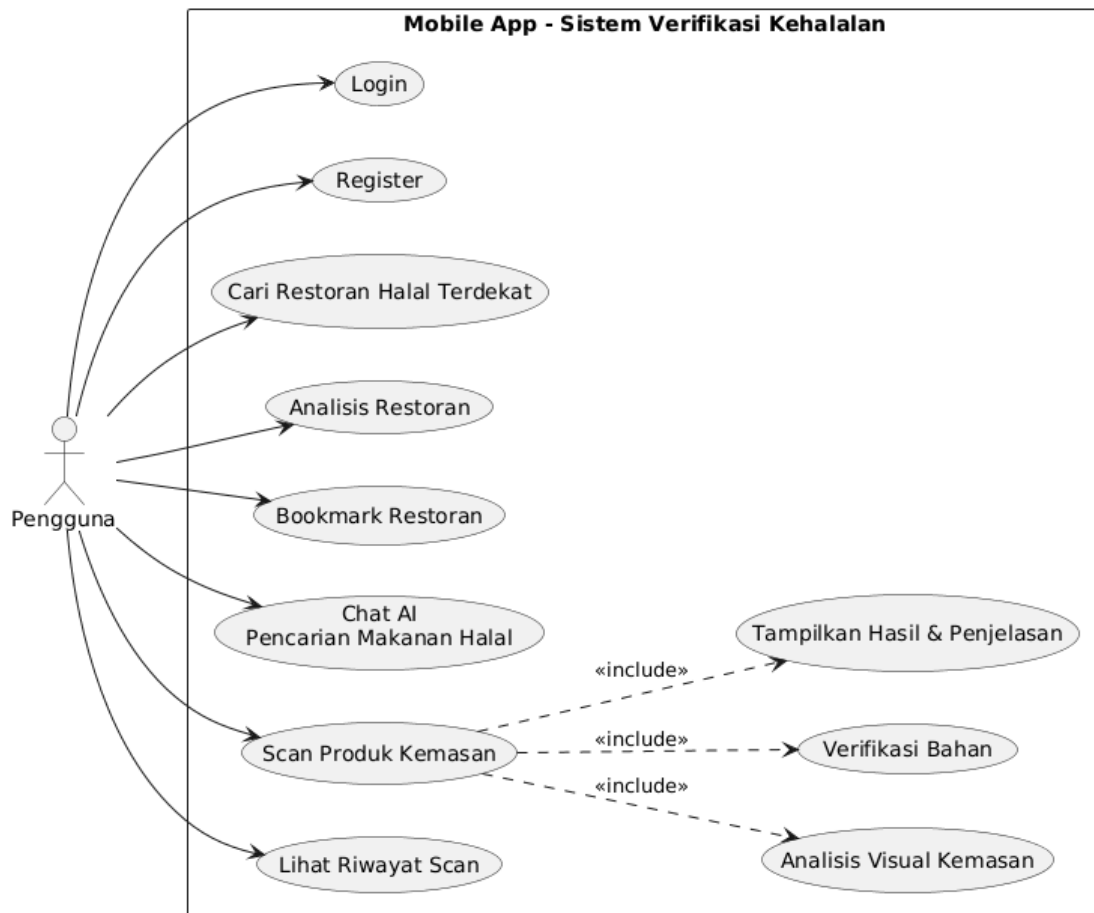
Gambar yang diambil kemudian dikirimkan ke sistem backend untuk dianalisis. Sistem menjalankan serangkaian proses yang mencakup pemahaman visual kemasan, ekstraksi informasi tekstual, verifikasi bahan berbasis web-retrieval, serta penalaran berbasis pengetahuan untuk menentukan status kehalalan produk. Seluruh proses ini berjalan secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manual dari pengguna.

Setelah proses analisis selesai, hasil verifikasi dikirimkan kembali ke aplikasi mobile dan ditampilkan kepada pengguna. Informasi yang disajikan mencakup status kehalalan produk serta penjelasan pendukung yang menjelaskan dasar pengambilan keputusan sistem. Hasil pemindaian tersebut juga dapat disimpan dalam riwayat pemindaian pengguna untuk keperluan referensi di masa mendatang.

Diagram Use Case Sistem

Diagram Use Case digunakan untuk menggambarkan interaksi antara pengguna dan sistem aplikasi mobile secara keseluruhan. Diagram ini mencakup seluruh fitur yang tersedia pada aplikasi, dengan penekanan khusus pada use case Scan Produk Kemasan sebagai use case utama yang menjadi fokus penelitian.

Use Case Diagram membantu memvisualisasikan peran pengguna dalam mengakses berbagai fitur aplikasi, serta memperjelas batasan penelitian dengan menunjukkan fitur utama dan fitur pendukung secara eksplisit.



Gambar 3.4 Usecase diagram aplikasi

3.3 Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 100 sampel gambar produk makanan kemasan yang dipilih untuk merepresentasikan kondisi dunia nyata dalam proses verifikasi halal berbasis AI. Setiap sampel diperoleh dari produk autentik dengan variasi desain kemasan, kualitas gambar, dan kondisi pencahayaan yang sering ditemui oleh pengguna sehari-hari.

Dataset ini dibagi ke dalam empat kategori evaluasi utama, yaitu:

- Halal dengan Logo Resmi (25 sampel) digunakan untuk mengukur tingkat True Positive sistem.
- Halal tanpa Logo (25 sampel) digunakan untuk mengidentifikasi potensi False Negative.
- Haram tanpa Logo (25 sampel) digunakan untuk menguji kemampuan sistem menghasilkan True Negative.
- Haram dengan Logo Tidak Sah (25 sampel) digunakan untuk mengukur risiko False Positive ketika sistem menemukan logo halal palsu.

Pembagian kategori ini memungkinkan analisis performa yang lebih terarah, karena setiap kategori memiliki tantangan verifikasi yang berbeda, misalnya keberadaan logo palsu, variasi teks komposisi, atau bahan kritis yang tidak dinyatakan secara eksplisit.

3.3.1 Variasi Kondisi Gambar

Gambar-gambar dalam dataset dirancang untuk mencerminkan kondisi nyata yang sering menurunkan performa OCR dalam praktik sehari-hari. Kondisi-kondisi tersebut meliputi permukaan kemasan yang melengkung, penggunaan teks multibahasa seperti Indonesia, Inggris, Korea, Jepang, dan Mandarin dalam satu produk, serta perbedaan signifikan dalam kualitas cetak dan resolusi antar sampel. Karakteristik dataset ini sejalan dengan temuan penelitian Nagayi et al. (2025) yang mengidentifikasi bahwa glare, permukaan melengkung, dan multilingual text merupakan hambatan terbesar dalam ekstraksi teks pada kemasan makanan di dunia nyata (Nagayi et al., 2025). Dengan mempertimbangkan kompleksitas visual tersebut, dataset dalam penelitian ini tidak hanya bersifat representatif terhadap produk komersial yang beredar, tetapi juga dirancang cukup menantang untuk mengevaluasi kapabilitas multimodal GPT-5 dalam kondisi yang mendekati skenario penggunaan aktual.

3.3.2 Struktur Kategori Bahan Kritis

Dalam menyusun struktur kategori bahan, penelitian ini mengadopsi kerangka kerja yang telah digunakan pada studi deteksi bahan syubhat dalam produk kosmetik Korea. Kerangka tersebut membagi bahan berdasarkan tingkat risiko ke dalam beberapa kategori hierarkis, dimulai dari bahan yang jelas haram seperti porcine derivatives dan lard, kemudian bahan potensial syubhat seperti gelatin dan E-number tertentu yang berbasis hewani (misalnya E471), hingga bahan aditif dengan variasi sumber seperti emulsifier dan flavour enhancer yang memerlukan verifikasi lebih lanjut. Penggunaan struktur referensi ini memungkinkan sistem untuk menandai bahan kritis dengan tingkat akurasi dan konsistensi yang lebih tinggi, baik ketika bahan tersebut diekstraksi langsung dari informasi pada kemasan maupun ketika diperoleh melalui hasil pencarian web sebagai sumber validasi tambahan.

3.3.3 Relevansi Dataset terhadap Evaluasi Sistem

Pemilihan dataset dengan komposisi kategori yang seimbang dan kondisi visual yang realistis memberikan beberapa keunggulan metodologis yang krusial bagi evaluasi sistem. Pertama, dataset ini memungkinkan pengujian robustness sistem terhadap berbagai variasi

kualitas gambar yang mencerminkan kondisi pengambilan foto di lapangan. Kedua, dataset mendukung pengukuran sensitivitas dan spesifisitas reasoning model, khususnya dalam menangani kasus-kasus kompleks seperti identifikasi logo halal yang tidak sah atau meragukan. Ketiga, dengan keragaman kondisi yang ada, penelitian dapat mengidentifikasi pola error secara spesifik pada setiap tahap pipeline, mulai dari ekstraksi teks melalui OCR, parsing komposisi bahan, hingga proses reasoning berbasis bukti. Keempat, desain dataset yang mencerminkan produk-produk komersial yang umum dijumpai di pasar menjamin bahwa hasil evaluasi memiliki generalisasi yang kuat terhadap aplikasi praktis. Dengan struktur dataset yang komprehensif ini, penelitian dapat mengevaluasi kinerja pipeline secara menyeluruh, tidak hanya dari segi ketepatan visual dalam mengenali elemen kemasan, tetapi juga dari segi kualitas reasoning dalam mengintegrasikan informasi visual, tekstual, dan pengetahuan eksternal untuk menghasilkan keputusan yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

3.4 Validasi Ground Truth

Validasi ground truth merupakan tahap penting untuk memastikan bahwa setiap sampel dalam dataset memiliki label yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Pada penelitian ini, proses penetapan ground truth dilakukan secara berlapis melalui tiga tahap verifikasi, yaitu verifikasi keaslian logo halal, pemeriksaan komposisi bahan, dan validasi silang ke database halal resmi. Pendekatan berlapis ini mengikuti prinsip *credibility–relevance* dalam Information Retrieval (IR), sebagaimana dijelaskan oleh Lioma et al. (2017) (Lioma et al., 2017), yang menekankan perlunya memprioritaskan sumber otoritatif serta melakukan cross-check untuk meminimalkan kesalahan penarikan kesimpulan.

3.4.1 Verifikasi Keaslian Logo Halal

Tahap pertama dalam proses validasi dilakukan dengan memeriksa secara mendetail keaslian logo halal yang tertera pada kemasan produk. Pemeriksaan ini melibatkan verifikasi kesesuaian logo dengan standar resmi yang ditetapkan oleh BPJPH sebagai otoritas sertifikasi halal di Indonesia, serta standar yang dikeluarkan oleh lembaga sertifikasi halal internasional terkemuka seperti JAKIM dari Malaysia, MUIS dari Singapura, dan IFANCA dari Amerika Serikat. Berdasarkan hasil pemeriksaan, logo kemudian dikategorikan ke dalam tiga kelompok, yaitu logo resmi yang telah terverifikasi oleh lembaga berwenang, logo tidak resmi yang tidak memiliki dasar sertifikasi yang sah, serta logo tiruan atau modifikasi yang berpotensi

menyesatkan konsumen. Pendekatan sistematis ini mengadopsi prinsip credibility checking dalam Information Retrieval, yang menekankan pentingnya memverifikasi bukti visual terhadap sumber otoritatif untuk menghindari kesalahan kategorisasi produk dan memastikan bahwa ground truth yang dibangun memiliki dasar validitas yang kuat.

3.4.2 Pemeriksaan Komposisi Bahan

Setelah verifikasi logo, tahap berikutnya difokuskan pada validasi komposisi bahan yang tertera pada kemasan atau yang diperoleh melalui pencarian web sebagai sumber informasi pelengkap. Fokus utama pemeriksaan diarahkan pada bahan-bahan non-halal yang telah diakui secara konsensus dalam literatur kehalalan, mencakup porcine derivatives dan lard yang jelas bersumber dari babi, gelatin non-halal yang berasal dari hewan yang tidak disembelih sesuai syariat, serta aditif berisiko seperti E471 yang dapat berbasis hewani dan memerlukan klarifikasi lebih lanjut mengenai sumbernya. Metode pemeriksaan ini mengikuti pendekatan yang telah digunakan dalam penelitian identifikasi bahan syubhat pada kosmetik Korea, yang membagi bahan berdasarkan tingkat risiko dan kompleksitas istilah yang digunakan. Pendekatan tersebut memungkinkan pemeriksaan bahan dilakukan secara sistematis dan terstruktur, terutama pada produk yang menggunakan istilah teknis atau nomenklatur multibahasa yang berpotensi menimbulkan ambiguitas dalam interpretasi status kehalalannya.

3.4.3 Validasi Silang ke Database Halal Resmi

Untuk memastikan keakuratan dan reliabilitas ground truth yang dibangun, proses validasi dilengkapi dengan validasi silang terhadap berbagai sumber resmi dan kredibel. Sumber-sumber tersebut mencakup database halal BPJPH yang menjadi rujukan utama untuk produk di Indonesia, sistem informasi halal JAKIM yang menyediakan data sertifikasi untuk wilayah Malaysia dan regional, daftar produk halal MUIS yang mencakup produk bersertifikat di Singapura, basis data IFANCA sebagai referensi untuk produk Amerika Serikat dan internasional, serta literatur ilmiah terkait bahan kritis dan status kehalalannya untuk memperkuat dasar teoretis dari keputusan kategorisasi. Pendekatan triangulasi sumber ini sejalan dengan metodologi credibility–relevance evaluation dalam penelitian Information Retrieval, di mana konsistensi informasi yang diperoleh dari berbagai sumber independen menjadi indikator utama kualitas dan validitas label yang diberikan. Melalui proses verifikasi berlapis ini, setiap keputusan mengenai status halal, haram, atau syubhat dalam dataset didukung oleh rujukan yang kuat, terpercaya, dan dapat dipertanggungjawabkan secara

metodologis, sehingga meminimalkan risiko bias atau kesalahan dalam pemberian label ground truth.

3.4.4 Justifikasi Metodologis

Penerapan strategi validasi berlapis dalam penelitian ini memberikan sejumlah keuntungan metodologis yang signifikan terhadap kualitas dan integritas dataset yang dibangun. Pertama, pendekatan ini secara efektif mengurangi bias penilaian yang dapat muncul dari ketergantungan pada satu sumber tunggal, karena setiap sampel dalam dataset diverifikasi melalui lebih dari satu sumber independen yang memiliki kredibilitas tinggi. Kedua, strategi validasi berlapis meningkatkan reliabilitas dataset secara keseluruhan, terutama dalam menangani kasus-kasus kompleks seperti identifikasi logo halal tidak sah yang sering kali dirancang menyerupai logo resmi, serta kategori bahan kritis yang memiliki tingkat ambiguitas tinggi karena variasi sumber atau proses produksinya. Ketiga, pendekatan ini menjamin akurasi evaluasi sistem secara fundamental, mengingat performa pipeline yang dikembangkan akan diuji berdasarkan data ground truth yang telah melalui proses validasi ketat dan komprehensif, sehingga hasil evaluasi dapat mencerminkan kemampuan sistem yang sesungguhnya tanpa terdistorsi oleh kesalahan labelisasi. Keempat, strategi ini mendukung prinsip reproduktibilitas penelitian yang menjadi salah satu pilar penting dalam riset ilmiah, mengingat seluruh label yang diberikan pada dataset dapat ditelusuri kembali ke sumber otoritatif yang jelas dan dapat diakses oleh peneliti lain untuk keperluan verifikasi atau pengembangan penelitian lanjutan. Dengan mengintegrasikan keseluruhan strategi validasi ini secara sistematis, dataset yang digunakan dalam penelitian memiliki tingkat integritas yang tinggi dan layak dijadikan fondasi yang kokoh untuk mengukur performa sistem verifikasi halal berbasis AI, sekaligus memberikan kontribusi metodologis yang dapat diadopsi dalam penelitian serupa di masa mendatang.

3.5 Persiapan Data

Tahap persiapan data dalam penelitian ini mencakup seluruh proses penyiapan gambar dan teks sebelum digunakan oleh pipeline verifikasi halal berbasis GPT-5. Berbeda dengan pendekatan computer vision tradisional yang biasanya mengandalkan serangkaian preprocessing visual seperti cropping, normalisasi orientasi, atau peningkatan kualitas image, sistem dalam penelitian ini sengaja dirancang untuk menggunakan gambar apa adanya dari pengguna. Hal ini dilakukan untuk mensimulasikan kondisi operasional dunia nyata dan

menilai robustness performa GPT-5 terhadap variasi kualitas input sebagaimana tantangan OCR pada kemasan makanan yang juga dijelaskan dalam penelitian Nagayi et al. (2025) (Nagayi et al., 2025).

3.5.1 Validasi dan Encoding Gambar

Sebelum gambar dikirimkan ke API GPT-5 untuk dianalisis, sistem melakukan validasi format dan ukuran file untuk memastikan kompatibilitas dengan model. Ketentuan yang diterapkan adalah sebagai berikut:

- a. Hanya format JPG atau PNG yang diterima
- b. Ukuran maksimum file adalah 10 MB
- c. Gambar diencode ke dalam format Base64 sebelum dikirim melalui API.

Proses encoding ini memastikan bahwa gambar dapat ditransmisikan secara aman dan utuh, tanpa menurunkan kualitas informasi visual yang diperlukan untuk OCR dan reasoning.

3.5.2 Persiapan Data untuk Input Gambar Tunggal

Mode input gambar tunggal diterapkan dalam skenario di mana pengguna hanya menyediakan satu foto kemasan produk, umumnya bagian depan yang memuat informasi utama seperti nama produk dan logo. Dalam mode ini, GPT-5 menjalankan serangkaian tugas ekstraksi visual yang mencakup identifikasi nama produk secara akurat, pembacaan seluruh elemen teks yang tertera pada permukaan kemasan yang terlihat, serta pengenalan karakteristik visual relevan seperti keberadaan logo halal, simbol-simbol tambahan, atau struktur label yang dapat memberikan petunjuk mengenai status kehalalan produk. Apabila nama produk berhasil diekstraksi dengan tingkat kepercayaan yang memadai, sistem kemudian mengaktifkan mekanisme web-retrieval melalui SERP API untuk mencari informasi komposisi bahan dari sumber eksternal seperti situs resmi produsen, database produk, atau platform e-commerce yang memuat spesifikasi lengkap produk. Tahap pencarian informasi eksternal ini memiliki peran krusial dalam pipeline, mengingat pada sebagian besar produk komersial, daftar komposisi bahan lengkap tidak dicantumkan pada bagian depan kemasan yang biasanya lebih berfokus pada branding dan informasi pemasaran, sehingga informasi komposisi harus diperoleh melalui penelusuran web untuk melengkapi data yang diperlukan dalam proses verifikasi kehalalan.

3.5.3 Normalisasi Teks dan Pembentukan Query Web

Dalam mode input gambar tunggal, informasi mengenai daftar komposisi bahan tidak dapat diperoleh langsung dari kemasan yang difoto, sehingga sistem perlu mengakses informasi tersebut melalui pencarian web. Untuk memastikan hasil pencarian yang relevan, kredibel, dan terhindar dari distorsi informasi yang sering ditemukan pada platform marketplace, tahap ini dirancang dengan menerapkan serangkaian strategi query web yang disusun secara bertahap dan hierarkis.

Pencarian Sumber Otoritatif. Tahap pertama dalam strategi pencarian menggunakan pola query yang dirancang khusus untuk memfilter sumber-sumber dengan kredibilitas rendah, yaitu "[nama_produk]" -site:[daftar marketplace sesuai negara]. Daftar marketplace yang dikecualikan dalam pencarian disesuaikan dengan lokasi geografis pengguna untuk memaksimalkan efektivitas filtrasi. Sebagai contoh, untuk pengguna di Indonesia, sistem akan mengecualikan platform seperti Tokopedia, Shopee, Blibli, dan Lazada, sedangkan untuk pengguna di Korea, sistem akan memfilter Coupang, Gmarket, dan 11st. Tujuan utama dari tahap ini adalah memprioritaskan sumber-sumber yang memiliki kredibilitas tinggi dan struktur informasi yang lebih terverifikasi, seperti situs resmi produsen produk, Wikipedia sebagai sumber ensiklopedis, OpenFoodFacts sebagai database produk makanan yang dikelola komunitas, serta artikel ulasan berkualitas tinggi dari media atau platform review terpercaya. Pendekatan filtrasi ini sejalan dengan strategi pengurangan noise dalam Information Retrieval yang berfokus pada peningkatan relevansi dan kredibilitas dokumen hasil pencarian.

Pencarian Umum sebagai Fallback Kedua. Apabila pencarian pada tahap pertama tidak menghasilkan informasi yang memadai mengenai komposisi bahan, sistem akan mengeksekusi query yang lebih umum dengan format "[nama_produk]" tanpa pembatasan domain. Pada tahap ini, hasil pencarian dari platform marketplace diperbolehkan muncul sebagai sumber alternatif, mengingat marketplace sering menyediakan deskripsi produk yang cukup detail meskipun tingkat kepercayaan informasinya bervariasi. Oleh karena itu, informasi dari marketplace hanya digunakan sebagai fallback dan akan divalidasi lebih lanjut dalam tahap reasoning untuk memastikan konsistensinya dengan sumber lain.

Pencarian Global sebagai Fallback Terakhir. Jika kedua strategi sebelumnya masih belum membuahkan hasil, sistem akan menjalankan pencarian global dengan mengubah parameter pencarian menjadi domain: google.com, gl: us, dan hl: en. Strategi ini diperuntukkan khusus bagi produk internasional yang mungkin memiliki informasi lebih lengkap dalam bahasa

Inggris atau produk yang dipasarkan dengan nama berbeda di berbagai negara, sehingga pencarian lokal tidak efektif dalam menemukan informasinya.

Ekstraksi dan Normalisasi Ingredients dari Snippet Web. Setelah hasil pencarian diperoleh, snippet dari maksimal tiga hasil teratas pada setiap tahap pencarian dikumpulkan dan digabungkan menjadi satu konteks tekstual yang komprehensif. Konteks ini kemudian dikirimkan ke GPT-5 untuk menjalankan serangkaian tugas pemrosesan bahasa alami yang mencakup:

- a. Ekstraksi daftar bahan dari berbagai format penulisan yang ditemukan dalam snippet
- b. Normalisasi istilah untuk menyatukan berbagai variasi penamaan bahan yang sama, misalnya karmin, cochineal, carmine, dan E120 dinormalisasi menjadi satu istilah standar "karmin"
- c. Penerjemahan istilah asing yang ditemukan dalam berbagai bahasa ke dalam bahasa Indonesia untuk konsistensi

Proses normalisasi ini mengadopsi pendekatan Natural Language Processing berbasis tokenisasi dan penyamaan istilah yang telah diterapkan dalam penelitian lexical-chain Information Retrieval, sehingga daftar bahan yang dihasilkan menjadi konsisten, terstandarisasi, dan siap digunakan dalam tahap reasoning untuk menentukan status kehalalan produk.

3.6 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dirancang untuk mengevaluasi performa pipeline verifikasi halal secara menyeluruh melalui pengujian end-to-end yang mensimulasikan kondisi penggunaan nyata. Pengujian ini mencakup aspek akurasi klasifikasi, ketahanan sistem terhadap variasi input visual, relevansi hasil web-retrieval, konsistensi reasoning, serta efisiensi waktu respons. Evaluasi dilakukan berdasarkan metodologi pengujian sistem multimodal yang umum digunakan dalam penelitian sebelumnya, termasuk pipeline OCR dunia nyata yang dibahas oleh literatur terdahulu dan pengujian reasoning multimodal GPT-5 yang dilaporkan dalam studi terkini mengenai performa model pada tugas visual kompleks.

3.6.1 Pengujian End-to-End

Pengujian end-to-end dilakukan untuk mengevaluasi performa pipeline secara keseluruhan ketika menangani input gambar kemasan dan menghasilkan keputusan final mengenai status kehalalan produk. Berbeda dengan pengujian yang mengisolasi setiap komponen secara

terpisah, pendekatan end-to-end mensimulasikan skenario penggunaan aktual di mana semua modul vision, parsing, web-retrieval, reasoning, dan XAI bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan output final yang komprehensif.

Seluruh 100 sampel dalam dataset dijalankan melalui pipeline untuk memperoleh matriks konfusi yang terdiri dari True Positive (TP) untuk produk halal yang teridentifikasi dengan benar, True Negative (TN) untuk produk haram yang berhasil dideteksi, False Positive (FP) untuk produk haram yang salah dikategorikan sebagai halal, dan False Negative (FN) untuk produk halal yang tidak terdeteksi atau salah dikategorikan sebagai haram.

Matriks konfusi ini menjadi dasar untuk menghitung empat metrik performa utama yang masing-masing memberikan perspektif berbeda terhadap kemampuan sistem.

Akurasi dihitung sebagai proporsi prediksi yang benar terhadap total prediksi, memberikan gambaran umum tentang performa sistem secara keseluruhan. Formula yang digunakan adalah:

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (3.1)$$

Metrik ini memberikan indikasi seberapa konsisten sistem dalam membuat keputusan yang tepat di berbagai kondisi produk.

Presisi mengukur proporsi prediksi halal yang benar-benar halal, yang sangat penting untuk menghindari risiko konsumen Muslim mengonsumsi produk haram. Formula yang digunakan adalah:

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3.2)$$

Dalam konteks verifikasi halal, presisi tinggi mengindikasikan bahwa ketika sistem menyatakan produk halal, pernyataan tersebut dapat dipercaya dengan tingkat kepastian yang tinggi.

Recall atau sensitivitas mengukur kemampuan sistem dalam mendeteksi semua produk halal yang ada dalam dataset, merefleksikan seberapa baik sistem dapat mengidentifikasi produk yang aman dikonsumsi. Formula yang digunakan adalah:

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3.3)$$

Recall yang tinggi mengindikasikan bahwa sistem tidak melewatkan produk halal dan tidak salah mengkategorikannya sebagai haram atau syubhat.

Spesifisitas mengukur kemampuan sistem dalam mengidentifikasi produk haram dengan benar, yang krusial untuk mencegah False Positive yang dapat membahayakan konsumen dari perspektif religius. Formula yang digunakan adalah:

$$\text{Spesifisitas} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3.4)$$

Metrik ini sangat penting karena kesalahan dalam mengidentifikasi produk haram sebagai halal memiliki konsekuensi yang serius bagi konsumen Muslim.

Dalam konteks verifikasi halal, metrik presisi dan spesifisitas memiliki bobot yang lebih tinggi dibandingkan recall, mengingat kesalahan False Positive di mana produk haram dikategorikan sebagai halal memiliki konsekuensi yang lebih serius dibandingkan False Negative. Meskipun demikian, sistem yang ideal harus mempertahankan keseimbangan antara keempat metrik untuk memastikan performa yang optimal di semua skenario.

3.6.2 Evaluasi Berdasarkan Kategori

Selain evaluasi end-to-end secara agregat, pengujian juga dilakukan secara terpisah untuk masing-masing dari empat kategori dataset yang telah dirancang untuk merepresentasikan skenario verifikasi yang berbeda. Kategori-kategori tersebut meliputi produk halal dengan logo resmi yang menjadi baseline untuk mengukur performa ideal sistem ketika semua indikator visual tersedia, produk halal tanpa logo yang menguji kemampuan sistem dalam mengandalkan analisis komposisi bahan dan web-retrieval tanpa bantuan indikator visual logo, produk haram tanpa logo yang mengevaluasi sensitivitas sistem terhadap bahan-bahan non-halal berdasarkan analisis komposisi semata, serta produk haram dengan logo tidak sah yang menjadi kategori paling kritis karena menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi upaya misleading melalui penggunaan logo palsu yang menyerupai logo resmi.

Analisis terpisah per kategori ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola error spesifik yang mungkin hanya muncul pada kondisi tertentu, memungkinkan penelitian untuk memahami

dalam situasi apa sistem bekerja optimal dan dalam kondisi apa sistem menghadapi tantangan. Pendekatan ini juga memfasilitasi pemetaan risiko sistem, terutama kecenderungan menghasilkan False Positive pada produk dengan logo palsu yang dapat membahayakan konsumen, serta memahami tantangan reasoning pada kasus tertentu seperti produk halal tanpa logo yang membutuhkan verifikasi web intensif untuk mengonfirmasi status kehalalannya.

Untuk setiap kategori, metrik performa yang sama akurasi, presisi, recall, dan spesifisitas dihitung secara independen untuk memberikan gambaran detail tentang bagaimana pipeline bereaksi terhadap karakteristik spesifik setiap kategori. Pendekatan evaluasi kategori ini mengikuti prinsip yang digunakan dalam studi klasifikasi bahan syubhat pada kosmetik Korea, yang menunjukkan bahwa analisis terpisah per kategori risiko dapat mengungkap insights yang tidak terlihat dalam evaluasi agregat.

Dengan memahami performa sistem pada setiap kategori, penelitian dapat memberikan rekomendasi spesifik untuk perbaikan yang ditargetkan. Misalnya, jika sistem menunjukkan kelemahan pada kategori produk haram dengan logo tidak sah, rekomendasi dapat difokuskan pada peningkatan akurasi deteksi logo palsu melalui enhancement pada vision module. Sebaliknya, jika kelemahan teridentifikasi pada kategori produk tanpa logo, upaya perbaikan dapat diarahkan pada optimasi strategi web-retrieval untuk memperoleh informasi komposisi yang lebih komprehensif dari sumber eksternal.

3.6.3 Evaluasi Waktu Respons

Evaluasi waktu respons dilakukan untuk menilai kelayakan sistem dalam skenario penggunaan near real-time, terutama jika pipeline ini akan diimplementasikan dalam aplikasi mobile atau web yang diakses oleh konsumen untuk verifikasi halal secara on-the-go. Kecepatan pemrosesan menjadi faktor kritis dalam menentukan user experience dan adoption rate aplikasi, mengingat konsumen modern mengharapkan respons yang relatif cepat bahkan untuk tugas yang kompleks seperti verifikasi kehalalan produk.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan timestamp yang dicatat pada setiap tahap pemrosesan, dimulai dari saat gambar diterima oleh sistem hingga output final dihasilkan. Tiga komponen waktu utama diidentifikasi sebagai kontributor signifikan terhadap total waktu respons sistem:

- a. Vision Processing Time - mengukur waktu yang diperlukan GPT-5 untuk membaca gambar kemasan dan melakukan OCR, deteksi logo, serta ekstraksi informasi visual lainnya. Komponen ini mencakup waktu untuk mengirim gambar ke API,

pemrosesan oleh model multimodal, dan penerimaan hasil ekstraksi. Vision processing umumnya menjadi bottleneck pertama karena melibatkan pemrosesan multimodal yang kompleks dengan resolusi gambar yang bervariasi.

- b. Web-Retrieval Time - mengukur waktu dari pengiriman query ke SERP API hingga hasil pencarian diterima dan snippet diekstraksi. Waktu ini sangat bervariasi tergantung pada kecepatan jaringan, jumlah tahap pencarian yang diperlukan (otoritatif dengan eksklusi marketplace, umum sebagai fallback, atau global untuk produk internasional), ukuran response yang diterima, serta kompleksitas filtering yang dilakukan pada hasil pencarian untuk memastikan kredibilitas sumber.
- c. Reasoning & XAI Processing Time - mengukur waktu pemrosesan reasoning untuk menentukan status halal-haram-syubhat serta penyusunan penjelasan transparan melalui modul XAI. Komponen ini mencakup waktu yang diperlukan untuk menggabungkan semua informasi dari vision dan web-retrieval, melakukan chain-of-thought reasoning dengan mempertimbangkan konteks kehalalan, membuat keputusan final, dan memformat output yang mencakup justifikasi berbasis bukti dan skor kepercayaan.

Untuk setiap komponen, dilakukan pengukuran pada seluruh 100 sampel dataset untuk memperoleh statistik deskriptif yang mencakup waktu minimum, maksimum, rata-rata, median, dan standar deviasi. Analisis statistik ini penting untuk mengidentifikasi outlier yang mungkin mengindikasikan masalah spesifik pada sampel tertentu, seperti gambar dengan resolusi sangat tinggi yang memerlukan waktu vision processing lebih lama, atau produk dengan nama yang ambigu yang memerlukan multiple rounds of web-retrieval. Pemahaman tentang distribusi waktu respons juga membantu dalam menetapkan ekspektasi yang realistis untuk user experience dalam implementasi praktis.

Pengukuran waktu ini dibandingkan dengan threshold acceptable untuk aplikasi consumer-facing, di mana waktu respons di bawah 10 detik umumnya dianggap dapat diterima untuk tugas yang tidak memerlukan interaksi real-time ketat, sementara waktu antara 10-30 detik masih dapat ditoleransi jika sistem memberikan feedback progresif kepada pengguna, dan waktu di atas 30 detik dapat menyebabkan user frustration dan abandonment. Hasil evaluasi waktu respons akan digunakan untuk menentukan apakah optimasi lebih lanjut diperlukan pada komponen tertentu, misalnya melalui caching hasil web-retrieval untuk produk yang sering dicari, penggunaan model yang lebih ringan untuk pre-processing visual, atau implementasi parallel processing untuk komponen yang independen.

3.6.4 Analisis Kesalahan

Analisis kesalahan dilakukan untuk memahami secara mendalam penyebab dan pola kesalahan yang dihasilkan oleh sistem, dengan fokus khusus pada identifikasi root cause dari setiap jenis error. Dalam konteks verifikasi halal, analisis kesalahan tidak hanya penting untuk mengukur keterbatasan sistem, tetapi juga untuk memahami dalam kondisi apa sistem dapat menghasilkan keputusan yang keliru dan bagaimana risiko tersebut dapat dimitigasi dalam pengembangan selanjutnya.

Analisis dimulai dengan kategorisasi kesalahan berdasarkan jenis error yang terjadi dalam matriks konfusi. False Positive, di mana produk haram diprediksi sebagai halal, merupakan jenis kesalahan paling kritis dalam konteks verifikasi halal karena dapat menyebabkan konsumen Muslim secara tidak sengaja mengonsumsi produk yang tidak halal. False Negative, di mana produk halal diprediksi sebagai haram atau syubhat, meskipun kurang kritis dari perspektif religius, tetap dapat merugikan produsen halal yang produknya salah dikategorikan dan mengurangi kepercayaan konsumen terhadap sistem.

Untuk setiap kasus kesalahan, dilakukan investigasi mendalam terhadap seluruh tahap pipeline untuk mengidentifikasi di komponen mana kesalahan berawal. Investigasi ini mencakup pemeriksaan hasil vision module untuk menilai apakah OCR berhasil mengekstraksi teks dengan akurat atau apakah logo terdeteksi dengan benar, analisis hasil web-retrieval untuk mengevaluasi apakah informasi komposisi bahan ditemukan dari sumber yang kredibel dan apakah snippet yang diekstraksi cukup informatif, serta evaluasi reasoning process untuk memahami bagaimana model mengintegrasikan berbagai sumber bukti dan apakah terdapat konflik antara bukti visual dan tekstual yang mempengaruhi keputusan final.

Pola kesalahan yang teridentifikasi kemudian dikategorisasikan berdasarkan penyebab utama. Kategori pertama adalah kesalahan akibat keterbatasan informasi eksternal, di mana web-retrieval tidak berhasil menemukan informasi komposisi bahan yang lengkap karena produk tersebut tidak memiliki presence online yang memadai atau snippet hasil pencarian terlalu ringkas. Kategori kedua adalah kesalahan akibat ambiguitas visual, di mana logo palsu yang sangat menyerupai logo resmi menciptakan konflik antara bukti visual dan bukti tekstual, menyebabkan reasoning model menghadapi dilema interpretasi. Kategori ketiga adalah kesalahan akibat kompleksitas komposisi bahan, di mana bahan-bahan dengan nomenklatur teknis atau E-number yang ambigu tidak teridentifikasi sebagai bahan non-halal karena kurangnya konteks tentang sumber bahan tersebut.

Analisis kesalahan juga mencakup evaluasi terhadap confidence score yang dihasilkan oleh model pada setiap kasus error. Pada kasus-kasus di mana model memberikan confidence rendah (misalnya di bawah 0.5), dapat diinterpretasikan bahwa model menyadari adanya ketidakpastian dalam keputusan meskipun tetap memberikan output klasifikasi. Sebaliknya, pada kasus di mana model memberikan confidence tinggi namun prediksi salah, mengindikasikan adanya blind spot dalam reasoning process yang perlu menjadi fokus perbaikan.

Temuan dari analisis kesalahan kemudian digunakan untuk menyusun rekomendasi perbaikan yang spesifik dan actionable. Rekomendasi dapat mencakup enhancement pada strategi web-retrieval untuk memperluas cakupan sumber informasi, fine-tuning vision module untuk meningkatkan akurasi deteksi logo palsu, atau enrichment knowledge base dengan informasi yang lebih komprehensif tentang E-number dan bahan-bahan teknis yang sering menimbulkan ambiguitas dalam konteks kehalalan.

3.6.5 Dokumentasi Pengujian

Seluruh hasil pengujian didokumentasikan secara sistematis dalam format terstruktur yang memfasilitasi analisis mendalam, audit independen, serta replikasi penelitian oleh peneliti lain. Dokumentasi yang komprehensif merupakan aspek krusial dalam penelitian ilmiah untuk memastikan transparansi metodologi dan memungkinkan verifikasi hasil oleh pihak eksternal.

Untuk setiap sampel dalam dataset, sistem dokumentasi mencatat informasi komprehensif yang mencakup metadata sampel seperti nama produk, kategori produk, dan kategori pengujian (halal dengan logo, halal tanpa logo, haram tanpa logo, atau haram dengan logo tidak sah). Dokumentasi juga mencatat hasil ekstraksi visual berupa teks hasil OCR dengan tingkat kepercayaan setiap karakter yang terdeteksi, status deteksi logo halal beserta tingkat kepercayaan model terhadap keaslian logo, dan identifikasi elemen visual lainnya yang relevan untuk reasoning seperti simbol atau klaim pada kemasan.

Informasi komposisi bahan yang diperoleh baik melalui parsing langsung dari kemasan maupun melalui web-retrieval didokumentasikan secara lengkap, termasuk daftar bahan dalam format terstandarisasi setelah melalui proses normalisasi, sumber informasi untuk setiap bahan (apakah dari OCR kemasan atau dari hasil SERP API), serta kategorisasi setiap bahan berdasarkan tingkat risiko (halal, haram, syubhat, atau memerlukan verifikasi lebih lanjut).

Bukti dari SERP API didokumentasikan dengan detail yang mencakup query yang digunakan pada setiap tahap pencarian (otoritatif, umum, atau global), snippet hasil pencarian

dari maksimal tiga hasil teratas per tahap, URL sumber yang digunakan untuk ekstraksi informasi, serta timestamp pencarian untuk memungkinkan verifikasi ulang jika diperlukan. Dokumentasi ini sangat penting untuk memahami bagaimana informasi eksternal berkontribusi terhadap keputusan final sistem.

Proses reasoning yang dilakukan oleh model didokumentasikan secara eksplisit melalui chain-of-thought yang menjelaskan langkah-langkah logika yang ditempuh untuk mencapai keputusan, termasuk bagaimana bukti visual dan tekstual diintegrasikan, bagaimana konflik antar-bukti diselesaikan, dan bagaimana model menangani kasus-kasus ambigu. Penjelasan XAI yang dihasilkan juga didokumentasikan sebagai bagian integral dari output sistem, menyediakan justifikasi transparan yang dapat dipahami oleh pengguna non-teknis.

Prediksi final sistem yang mencakup status halal atau haram beserta confidence score dibandingkan dengan ground truth yang telah divalidasi pada tahap sebelumnya untuk menghitung metrik performa. Setiap discrepancy antara prediksi dan ground truth ditandai untuk analisis kesalahan lebih lanjut, dengan penambahan catatan khusus untuk kasus-kasus yang menunjukkan perilaku anomali atau menarik yang dapat menjadi insight untuk pengembangan sistem.

Dokumentasi disimpan dalam format CSV terstruktur yang memudahkan parsing otomatis dan analisis kuantitatif menggunakan script atau tools analitik, sementara ringkasan visual disediakan dalam format spreadsheet untuk memfasilitasi review manual dan identifikasi pola error oleh peneliti. Setiap entry dokumentasi juga mencakup metadata tambahan seperti timestamp pengujian untuk tracking temporal, versi model yang digunakan untuk memastikan reproducibility, parameter konfigurasi sistem seperti threshold confidence dan strategi web-retrieval yang diaktifkan, serta catatan khusus untuk kasus-kasus yang menunjukkan perilaku anomali atau memerlukan investigasi lebih lanjut.

Struktur dokumentasi yang terorganisir ini tidak hanya meningkatkan transparansi analisis dengan menyediakan audit trail yang lengkap untuk setiap keputusan sistem, tetapi juga memungkinkan peneliti lain untuk memverifikasi hasil penelitian dengan melakukan pengujian ulang pada sampel yang sama atau menggunakan dataset sebagai benchmark untuk membandingkan sistem verifikasi halal yang berbeda. Dokumentasi juga memfasilitasi continuous improvement dengan menyediakan data historis yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola perbaikan performa sistem seiring dengan iterasi pengembangan, serta memungkinkan analisis longitudinal untuk memahami bagaimana performa sistem berubah dengan update model atau perubahan strategi pipeline.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Implementasi Aplikasi Mobile

Sistem verifikasi kehalalan produk makanan kemasan yang dikembangkan pada penelitian ini telah berhasil diimplementasikan dalam bentuk aplikasi mobile sebagai antarmuka utama pengguna. Aplikasi mobile ini merealisasikan rancangan sistem dan kebutuhan fungsional yang telah dimodelkan pada Bab III, termasuk modul utama pemindaian produk makanan kemasan serta beberapa fitur pendukung yang melengkapi konteks penggunaan aplikasi.

Implementasi aplikasi mobile bertujuan untuk menyediakan sarana interaksi yang praktis dan mudah diakses bagi pengguna dalam melakukan verifikasi kehalalan produk. Aplikasi berperan sebagai client-side application yang menangani interaksi pengguna, sementara seluruh proses analisis berbasis kecerdasan buatan, termasuk pemrosesan visual, web-retrieval, dan reasoning berbasis Explainable Artificial Intelligence (XAI), dijalankan pada sisi server.

Tampilan antarmuka yang disajikan pada bagian ini ditampilkan sebagai bukti implementasi sistem, bukan sebagai objek analisis desain antarmuka. Analisis performa sistem deteksi, evaluasi ketepatan klasifikasi, serta pembahasan mendalam mengenai perilaku reasoning dan mekanisme XAI dibahas secara terpisah pada bagian evaluasi dan pembahasan selanjutnya.

Tampilan Autentikasi Pengguna

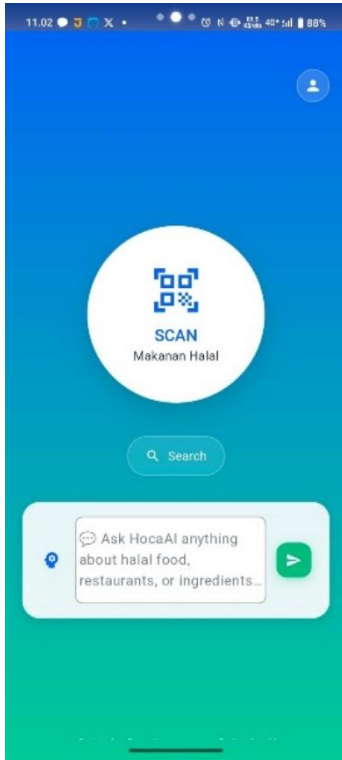
Fitur autentikasi pengguna terdiri dari halaman login dan register yang digunakan untuk mengelola identitas pengguna dalam sistem. Fitur ini bersifat pendukung dan berfungsi untuk memungkinkan penyimpanan data personal pengguna, seperti riwayat pemindaian produk dan daftar restoran yang ditandai. Fitur autentikasi tidak menjadi fokus utama penelitian dan tidak dianalisis lebih lanjut secara teknis.



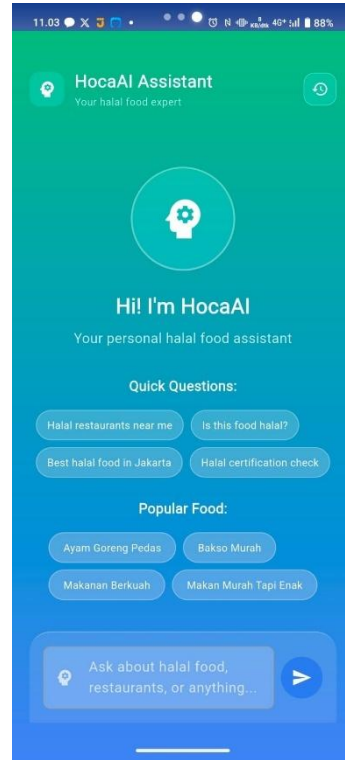
Gambar 4.1 Halaman Login dan Register

Tampilan Beranda dan Fitur Pendukung Aplikasi

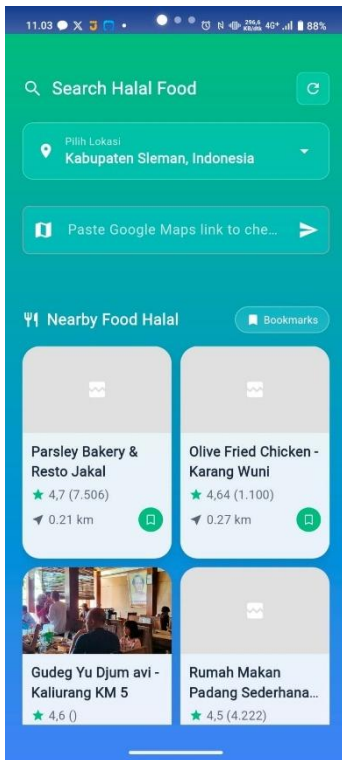
Halaman beranda aplikasi menyediakan akses ke berbagai fitur pendukung yang tersedia dalam ekosistem aplikasi mobile, seperti pencarian restoran halal terdekat, analisis restoran, interaksi melalui chat AI untuk rekomendasi makanan halal, serta fitur bookmark restoran. Fitur-fitur ini disertakan untuk memberikan pengalaman penggunaan aplikasi yang lebih komprehensif, namun tidak menjadi objek evaluasi dalam penelitian ini.



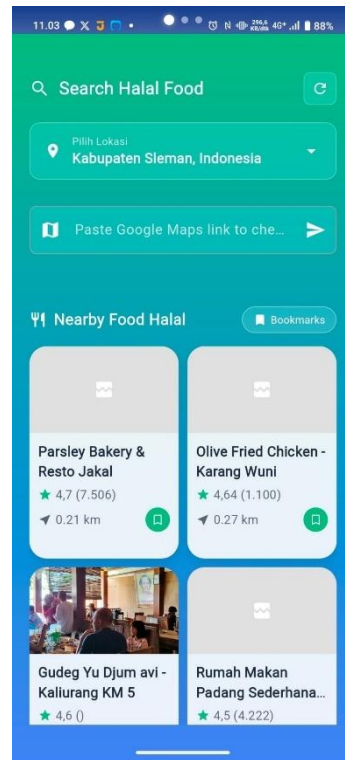
Gambar 4.2 Halaman Beranda



Gambar 4.4 Halaman AI Assistant



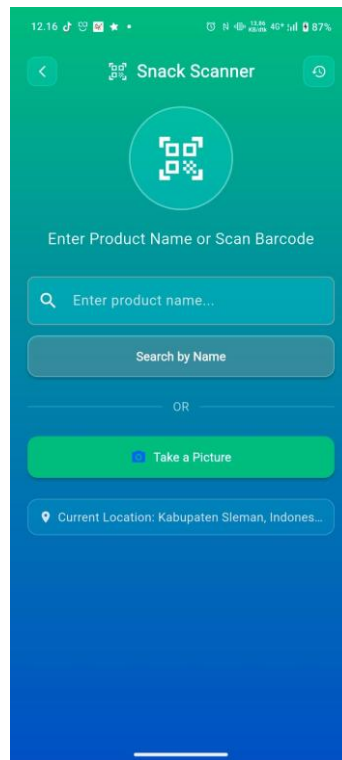
Gambar 4.3 Halaman Pencarian Restoran



Gambar 4.5 Halaman Bookmark

Tampilan Modul Scan Produk Makanan Kemasan

Modul scan produk makanan kemasan merupakan fitur utama dalam aplikasi mobile dan menjadi fokus implementasi pada penelitian ini. Modul ini memungkinkan pengguna melakukan verifikasi kehalalan produk dengan mengambil gambar kemasan produk menggunakan kamera perangkat.

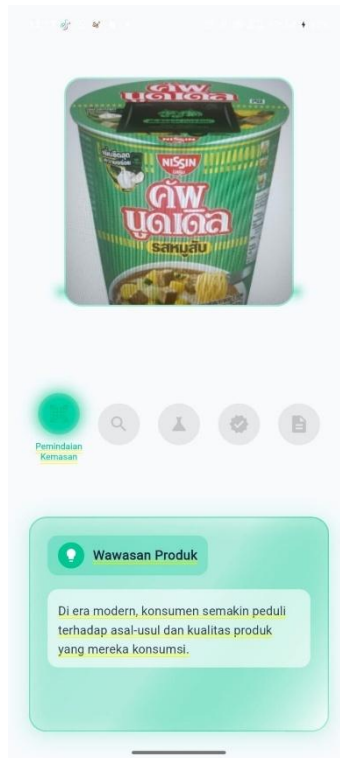


Gambar 4.6 Halaman Scanner

Pada tahap awal, pengguna diarahkan ke halaman pemindaian untuk mengambil gambar kemasan produk. Antarmuka dirancang sederhana untuk memastikan kemudahan penggunaan dan kualitas gambar yang memadai sebelum diproses oleh sistem.

Tampilan Proses Analisis Produk

Setelah gambar diambil, aplikasi menampilkan indikator proses yang menunjukkan bahwa sistem sedang menjalankan analisis produk. Pada tahap ini, gambar dikirimkan ke sistem backend untuk diproses melalui pipeline verifikasi kehalalan yang mencakup analisis visual, ekstraksi informasi, web-retrieval, dan reasoning berbasis XAI.



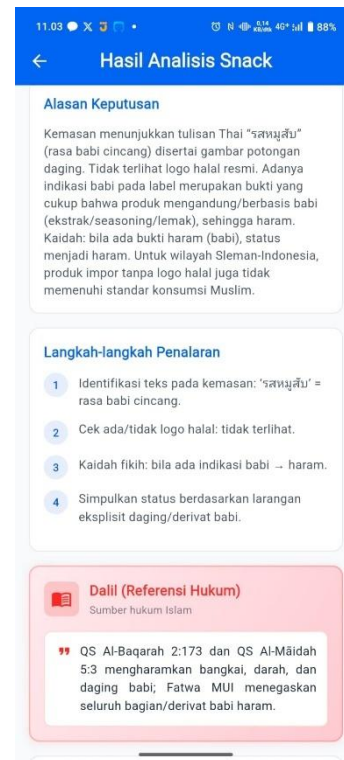
Gambar 4.7 Halaman Proses Analisis Produk

Tampilan Hasil Verifikasi Kehalalan

Hasil verifikasi ditampilkan kepada pengguna dalam bentuk status kehalalan produk, yaitu halal atau haram, disertai penjelasan pendukung yang menjelaskan dasar pengambilan keputusan sistem. Informasi yang ditampilkan mencakup ringkasan analisis visual kemasan, hasil verifikasi bahan, serta rujukan informasi yang digunakan dalam proses penalaran.



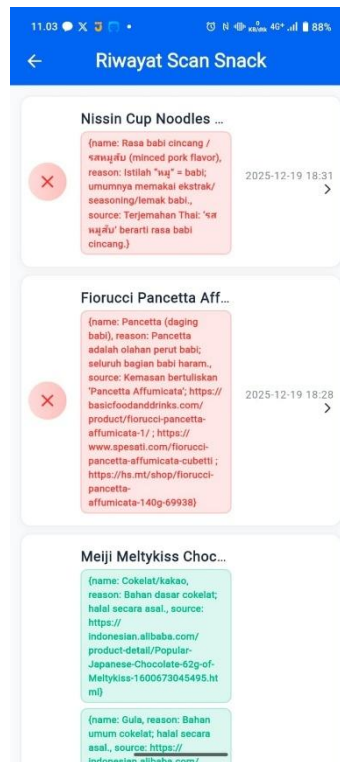
Gambar 4.8 Tampilan 1 Hasil Verifikasi



Gambar 4.9 Tampilan 2 Hasil Verifikasi

Tampilan Riwayat Pemindaian Produk

Setiap hasil pemindaian produk makanan kemasan disimpan dalam riwayat pemindaian pengguna. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk mengakses kembali hasil verifikasi yang telah dilakukan sebelumnya tanpa perlu melakukan pemindaian ulang, serta mendukung keberlanjutan penggunaan aplikasi.



Gambar 4.10 Tampilan Riwayat Scan Snack

Dengan ditampilkannya antarmuka aplikasi mobile pada bagian ini, sistem verifikasi kehalalan telah dibuktikan dapat diimplementasikan dan digunakan secara fungsional. Pembahasan selanjutnya difokuskan pada evaluasi performa sistem deteksi, analisis kesalahan, perilaku reasoning, serta efisiensi pipeline yang menjadi kontribusi utama penelitian.

4.1.2 Hasil Evaluasi Performa Global Sistem

Evaluasi performa global dilakukan terhadap 100 sampel produk makanan kemasan yang terbagi dalam empat kategori: halal dengan logo resmi (25 sampel), halal tanpa logo (25 sampel), haram tanpa logo (25 sampel), dan haram dengan logo tidak sah (25 sampel). Seluruh sampel diproses melalui pipeline end-to-end yang mencakup analisis visual GPT-5 Vision, ekstraksi informasi, pencarian komposisi bahan melalui web-retrieval, hingga penalaran halal-haram yang didukung XAI.

Confusion Matrix

Hasil pengujian menghasilkan confusion matrix sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Confusion Matrix

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

Berdasarkan confusion matrix tersebut, diperoleh nilai:

- True Positive (TP) = 50
- True Negative (TN) = 43
- False Positive (FP) = 7
- False Negative (FN) = 0

Metrik Performa Global

Perhitungan metrik performa berdasarkan confusion matrix menghasilkan nilai sebagai berikut:

a. Akurasi

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \frac{50 + 43}{100} = 0,93 = 93\% \quad (4.1)$$

b. Presisi

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{50}{50 + 7} = 0,8772 = 87,72\% \quad (4.2)$$

c. Recall

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{50}{50 + 0} = 1,0 = 100\% \quad (4.3)$$

d. Spesifisitas

$$\text{Spesifisitas} = \frac{TN}{TN + FP} = \frac{43}{43 + 7} = 0,86 = 86\% \quad (4.4)$$

Ringkasan metrik performa global disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Ringkasan Metrik

Metrik	Nilai
Jumlah Sampel	100

True Positive (TP)	50
True Negative (TN)	43
False Positive (FP)	7
False Negative (FN)	0
Akurasi	93,00%
Presisi	87,72%
Recall	100,00%
Spesifisitas	86,00%

4.1.3 Hasil Evaluasi Performa Berdasarkan Kategori Produk

Evaluasi performa dilakukan secara terpisah untuk masing-masing kategori produk guna mengidentifikasi pola kekuatan dan kelemahan sistem pada kondisi yang berbeda.

Tabel 4.3 Evaluasi Performa Berdasarkan Kategori

Kategori	TP	TN	FP	FN	Akurasi
Halal dengan Logo Resmi	25	0	0	0	100%
Halal tanpa Logo	25	0	0	0	100%
Haram tanpa Logo	0	22	3	0	88%
Haram dengan Logo Tidak Sah	0	21	4	0	84%

Hasil menunjukkan bahwa kedua kategori produk halal (dengan logo dan tanpa logo) mencapai akurasi sempurna 100%. Pada kategori produk haram, sistem mencapai akurasi 88% untuk produk tanpa logo dan 84% untuk produk dengan logo tidak sah.

4.1.4 Hasil Analisis Kesalahan Sistem

Analisis kesalahan difokuskan pada 7 kasus False Positive yang tersebar pada kategori haram tanpa logo (3 kasus) dan haram dengan logo tidak sah (4 kasus). Tidak ditemukan kasus False Negative dalam seluruh pengujian.

Untuk memberikan gambaran komprehensif terhadap seluruh kasus kesalahan, Tabel 4.4 menyajikan ringkasan tujuh kasus False Positive beserta kategori produk, penyebab utama kesalahan, confidence score, dan bahan kritis yang terlibat.

Tabel 4.4 Ringkasan 7 Kasus False Positive

No	Produk	Kategori	Penyebab Utama	Confidence	Bahan Kritis
1	Tokyo Banana	Cat 3	Informasi bahan tidak lengkap dari web-retrieval	0,38	Gelatin, emulsifier
2	Pringles Smokey Bacon	Cat 3	Web-retrieval hanya menampilkan snippet	0,60	Bacon flavour (asal tidak jelas)
3	Nongshim Chapagetti	Cat 3	Daftar bahan parsial, tidak eksplisit	0,35	Flavor enhancer, sauce component
4	Pringles Bacon	Cat 4	Logo halal tidak sah menyerupai logo resmi	0,65	Perisa bacon
5	Tokyo Banana	Cat 4	Ikon “halal” tidak sah pada kemasan	0,38	Potensi gelatin
6	Tuc Cracker	Cat 4	Logo palsu dan informasi web ambigu	0,35	Perisa (asal tidak disebutkan)
7	Chapagetti	Cat 4	Konflik sinyal visual dan bukti tekstual	0,65	Minyak dan flavour

Investigasi terhadap ketujuh kasus False Positive mengungkapkan dua faktor utama yang berkontribusi terhadap terjadinya kesalahan sistem. Faktor pertama adalah ketidaklengkapan informasi komposisi bahan yang diperoleh melalui mekanisme web-retrieval. Gambar 4.11 menunjukkan contoh kasus dari kategori 3, yaitu produk Pringles Smokey Bacon Flavour, yang berdasarkan validasi ground truth mengandung bahan haram, namun diprediksi sebagai halal dengan confidence score sebesar 0,60.



Gambar 4.11 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 4.12 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.

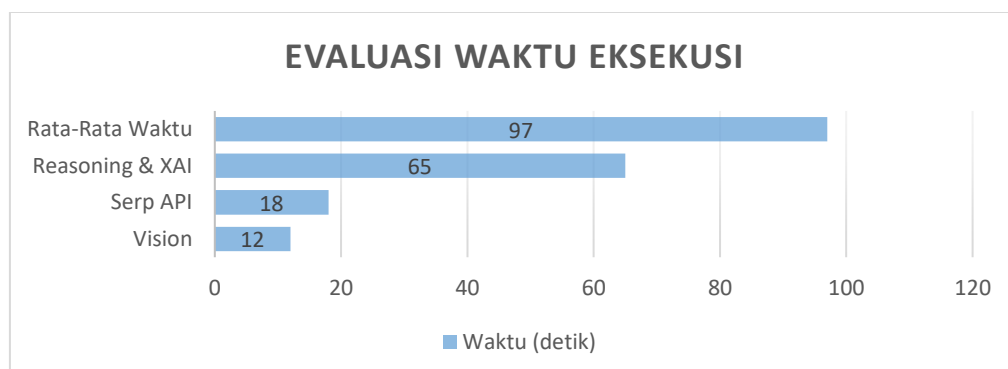


Gambar 4.12 False Positive Kategori 4: Tokyo Banana dengan Ikon Halal Tidak Sah

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.

4.1.5 Hasil Evaluasi Waktu Eksekusi

Pengukuran waktu eksekusi dilakukan pada tiga komponen utama pipeline: Vision (GPT-5 Vision + OCR), SERP API (web-retrieval), dan Reasoning & XAI (LLM reasoning + generation).



Gambar 4.13 Visualisasi Hasil Evaluasi Waktu Eksekusi

Hasil menunjukkan bahwa komponen Reasoning & XAI memerlukan waktu paling lama (65,98 detik), diikuti oleh SERP API (18,30 detik) dan Vision (12,53 detik). Total waktu rata-rata untuk memproses satu produk adalah 97,02 detik atau sekitar 1,6 menit.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Performa Global Sistem

Interpretasi Metrik Performa

Sistem mencapai akurasi global 93%, yang mengindikasikan konsistensi tinggi dalam pengambilan keputusan di berbagai kondisi produk. Nilai recall sempurna 100% menunjukkan bahwa sistem tidak melewatkan satu pun produk halal, memastikan tidak ada produk halal yang salah dikategorikan sebagai haram. Temuan ini sangat penting dalam konteks verifikasi halal karena memastikan konsumen Muslim tidak kehilangan akses ke produk halal yang legitimate akibat kesalahan sistem.

Presisi 87,72% mengindikasikan bahwa ketika sistem menyatakan produk halal, terdapat probabilitas sekitar 87,72% bahwa produk tersebut benar-benar halal. Nilai ini terpengaruh oleh 7 kasus False Positive, yang mencerminkan risiko kesalahan sebesar 12,28% pada prediksi halal. Spesifisitas 86% menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi mayoritas produk haram dengan benar, meskipun masih terdapat ruang perbaikan untuk mengurangi False Positive.

Implikasi Pola Error

Pola error yang teridentifikasi tidak adanya False Negative dan konsentrasi seluruh kesalahan pada False Positive memiliki implikasi penting terhadap keamanan sistem. Tidak adanya False Negative mengeliminasi risiko sistemik di mana produk halal dikategorikan salah sebagai haram, yang dapat menimbulkan kerugian ganda: konsumen Muslim kehilangan akses ke produk halal yang aman, dan produsen halal mengalami reputational damage.

Konsentrasi error pada False Positive mengindikasikan bias konservatif dalam reasoning, di mana sistem cenderung memberikan benefit of doubt kepada produk yang memiliki indikasi visual halal (seperti logo) meskipun terdapat inkonsistensi dengan bukti tekstual. Bias ini, meskipun menghasilkan kesalahan, bersifat lebih aman dibanding bias sebaliknya karena konsumen masih dapat melakukan verifikasi manual ketika meragukan hasil sistem.

4.2.2 Analisis Performa Berdasarkan Kategori

Faktor Keberhasilan Deteksi Produk Halal

Performa sempurna pada kedua kategori halal (100% akurasi) mengonfirmasi bahwa pendekatan multimodal reasoning mampu bekerja efektif baik ketika bukti visual eksplisit (logo) tersedia maupun ketika sistem harus mengandalkan analisis komposisi bahan semata.

Pada kategori halal dengan logo resmi, kemampuan zero shot recognition GPT 5 Vision memainkan peran krusial. Berbeda dengan model CNN tradisional yang memerlukan dataset training spesifik untuk setiap variasi logo, GPT 5 dapat mengenali karakteristik visual umum logo halal berdasarkan pengetahuan yang diperoleh selama pre training (Wang et al., 2025). Sistem tidak hanya mendeteksi keberadaan logo, tetapi juga memeriksa kesesuaian informasi lain seperti teks pada kemasan dan struktur visual keseluruhan untuk memvalidasi keaslian logo.

Pada kategori halal tanpa logo, keberhasilan sistem menunjukkan efektivitas mekanisme web retrieval yang telah dirancang. Strategi pencarian bertahap dengan prioritas pada sumber kredibel memastikan bahwa informasi yang diperoleh cukup akurat untuk mendukung reasoning. Kemampuan GPT 5 dalam melakukan semantic understanding terhadap daftar bahan memungkinkan sistem mengidentifikasi bahan halal meskipun ditulis dalam berbagai format atau bahasa.

Tantangan Deteksi Produk Haram

Penurunan akurasi pada kategori haram (88% untuk tanpa logo, 84% untuk dengan logo palsu) mengungkapkan dua tantangan utama sistem.

Pertama, pada kategori haram tanpa logo, sistem sangat bergantung pada kelengkapan data dari web retrieval. Ketika snippet hasil pencarian tidak mencantumkan bahan haram secara eksplisit, reasoning tidak menemukan bukti yang cukup kuat untuk menyimpulkan status haram. Dalam kondisi ini, model mengikuti prinsip reasoning berbasis bukti: tanpa bukti eksplisit keharaman, sistem cenderung memberikan benefit of doubt alih alih membuat asumsi.

Kedua, pada kategori haram dengan logo tidak sah, kemiripan visual logo palsu dengan logo resmi menciptakan konflik bukti bagi sistem reasoning. Beberapa logo tidak sah memiliki karakteristik yang menyerupai logo legitimate, seperti bentuk geometris mirip logo BPJPH, kombinasi warna hijau atau emas yang khas sertifikasi halal, dan penggunaan kaligrafi Arab yang mencolok. Kondisi ini menciptakan konflik antara sinyal visual positif (logo halal) dan bukti tekstual negatif (bahan haram atau informasi yang tidak konsisten).

Meskipun terdapat tantangan ini, sistem tetap berhasil mengidentifikasi 21 dari 25 produk berlogo palsu sebagai haram (84%), menunjukkan ketahanan reasoning terhadap manipulasi visual dalam mayoritas kasus.

Analisis Faktor Penentu Performa

Analisis mendalam mengidentifikasi tiga faktor utama yang menentukan tingkat akurasi per kategori:

a. **Ketersediaan dan Kualitas Bukti Visual**

Kategori dengan bukti visual eksplisit dan legitimate (halal dengan logo resmi) mencapai performa sempurna karena sistem dapat mengandalkan sinyal yang kuat dan terverifikasi. Sebaliknya, kategori dengan bukti visual yang menyesatkan (haram dengan logo palsu) menghadapi tantangan lebih besar karena sistem harus mengatasi konflik antara visual cues dan evidential reasoning.

b. **Kelengkapan Informasi dari Web Retrieval**

Pada kategori tanpa logo, kelengkapan informasi dari SERP API menjadi faktor penentu utama. Ketika snippet hasil pencarian menyediakan daftar bahan yang komprehensif, sistem dapat melakukan reasoning dengan akurat. Namun, ketika informasi terlalu ringkas atau tidak memuat bahan kritis, sistem menghadapi keterbatasan evidential basis yang dapat menyebabkan error.

c. **Kompleksitas Reasoning dari Bukti yang Berkonflik**

Kategori haram dengan logo palsu menunjukkan bahwa reasoning menjadi lebih kompleks ketika terdapat konflik antara multiple sources of evidence. Model harus menimbang kredibilitas relatif antara bukti visual (logo), bukti tekstual (komposisi), dan bukti eksternal (web retrieval). Pada 4 kasus error, model tidak berhasil menyelesaikan konflik ini dengan tepat.

4.2.3 Analisis Akar Penyebab Kesalahan

Keterbatasan Informasi dari Web Retrieval

Investigasi terhadap 7 kasus False Positive mengidentifikasi ketidaklengkapan informasi web sebagai penyebab utama kesalahan. Snippet yang dikembalikan oleh SERP API pada kasus error tidak memuat informasi bahan kritis yang diperlukan untuk reasoning. Analisis

menunjukkan bahwa tidak satu pun dari 7 kasus error memiliki snippet yang mencantumkan daftar bahan lengkap atau menyebutkan bahan kritis secara eksplisit.

Ketika sistem tidak menemukan bukti eksplisit berupa istilah haram dalam hasil pencarian, reasoning tidak menyimpulkan keharaman hanya berdasarkan kecurigaan atau asumsi. Prinsip reasoning ini yang bekerja berdasarkan bukti yang tersedia alih alih membuat asumsi spekulatif menghasilkan keputusan yang condong ke prediksi halal dalam kondisi informasi tidak lengkap. Pendekatan ini aman bagi konsumen halal karena tidak menimbulkan False Negative, namun dapat menghasilkan False Positive ketika informasi eksternal minim.

Temuan ini mengonfirmasi bahwa kualitas informasi dari web retrieval merupakan bottleneck utama dalam pipeline. Strategi pencarian bertahap (otoritatif → umum → global) yang telah dirancang berhasil menemukan informasi berkualitas dalam mayoritas kasus (93%), namun masih terdapat subset produk (7%) yang informasinya tidak tersedia atau tidak terindeks dengan baik oleh mesin pencari.

Konflik Bukti dari Logo Palsu

Penyebab kedua adalah kemiripan visual logo tidak sah dengan logo resmi yang menciptakan konflik interpretasi bagi model reasoning. Dalam 3 dari 7 kasus error, konflik ini tidak terselesaikan dengan tepat karena bukti visual memberikan sinyal halal yang kuat (logo tampak legitimate) sementara bukti tekstual lemah atau ambigu (informasi bahan tidak lengkap dari web).

Meskipun logo palsu mempengaruhi interpretasi awal sistem, pipeline masih mampu mengklasifikasikan 21 dari 25 produk berlogo tidak sah sebagai haram, menunjukkan ketahanan reasoning terhadap manipulasi visual dalam mayoritas kasus. Kesalahan hanya terjadi pada subset sampel di mana konflik bukti tidak dapat diselesaikan dengan confidence tinggi.

Konsistensi Perilaku Reasoning

Analisis confidence score mengungkapkan bahwa model menunjukkan awareness terhadap ketidakpastian. Tidak ada kasus error dengan confidence tinggi (>0.7), mengindikasikan bahwa model "menyadari" ketidakpastiannya dan tidak membuat kesalahan dengan keyakinan penuh. Lebih dari separuh kesalahan (57%) terjadi pada prediksi dengan confidence di bawah 0.5, menunjukkan bahwa model memberikan sinyal peringatan implisit tentang ketidakpastian keputusan.

Pola ini memiliki implikasi praktis penting: sistem dapat dikonfigurasi untuk memberikan peringatan kepada pengguna ketika confidence berada di bawah threshold tertentu (misalnya 0.5), menyarankan verifikasi manual atau pencarian informasi tambahan. Dengan pendekatan ini, 4 dari 7 kasus error (57%) dapat diidentifikasi sebagai "uncertain" dan memerlukan konfirmasi lebih lanjut.

Model juga menunjukkan kemampuan semantic understanding yang mendalam, tidak mengandalkan pencocokan kata kunci secara naif. Keberadaan teks seperti "bacon flavor" pada kemasan tidak otomatis dikategorikan sebagai haram; sistem memeriksa apakah flavor tersebut berasal dari ekstrak porcine atau bersifat sintetis. Pendekatan berbasis konteks ini mencerminkan kemampuan reasoning yang lebih mendalam dibanding sekadar keyword matching.

4.2.4 Analisis Efisiensi Waktu Eksekusi

Identifikasi Bottleneck Pipeline

Evaluasi waktu eksekusi mengidentifikasi Reasoning & XAI sebagai komponen paling berat dalam pipeline (65,98 detik atau 68% dari total waktu). Durasi ini mencerminkan kompleksitas proses yang melibatkan integrasi bukti visual dan tekstual, penentuan status halal haram syubhat, cross check dengan pengetahuan internal model, penyusunan argumentasi reasoning, serta pembuatan penjelasan XAI visual dan tekstual.

Komponen SERP API memerlukan waktu 18,30 detik (19% dari total), mencerminkan latensi normal API, kompleksitas filtering domain marketplace, dan penggabungan snippet dari beberapa sumber. Komponen Vision memerlukan waktu paling singkat (12,53 detik atau 13% dari total), menunjukkan efisiensi GPT 5 Vision dalam memproses gambar kemasan dengan cepat meski input bervariasi dalam kualitas pencahayaan, sudut pengambilan, dan kompleksitas visual.

Trade off Akurasi vs Kecepatan

Total waktu rata rata 97,02 detik (sekitar 1,6 menit per produk) menunjukkan trade off yang dipilih sistem antara kecepatan dan kualitas reasoning. Waktu ini cukup cepat untuk penggunaan konsumen dalam konteks manual checking, namun belum ideal untuk aplikasi yang membutuhkan respons real time penuh seperti scanning cepat di supermarket.

Durasi reasoning yang tinggi sejalan dengan tingginya kualitas XAI yang dihasilkan. Pipeline memprioritaskan keputusan yang dapat ditelusuri, dapat dibuktikan, dan memiliki penjelasan rinci aspek yang sangat penting untuk konteks kehalalan. Dengan kata lain, waktu eksekusi yang lebih lama merupakan konsekuensi dari tingkat transparansi dan kehati-hatian yang tinggi dalam reasoning.

Beberapa optimisasi potensial yang dapat mempercepat kinerja tanpa mengorbankan akurasi meliputi: caching hasil SERP API untuk produk yang sering dicari, menyederhanakan langkah reasoning untuk kasus bahan sederhana, dan menggunakan mode inferensi lebih efisien pada model multimodal. Namun, optimisasi ini harus dilakukan dengan hati-hati untuk tidak mengurangi kualitas reasoning dan transparansi yang menjadi keunggulan sistem.

4.2.5 Sintesis Temuan dan Implikasi

Kekuatan Sistem

Evaluasi komprehensif mengidentifikasi lima kekuatan utama sistem:

- a. Sistem menunjukkan konsistensi tinggi dalam mendeteksi produk halal dengan recall sempurna 100%, memastikan tidak ada produk halal yang terlewat atau salah dikategorikan. Kemampuan ini berlaku baik untuk produk dengan logo resmi maupun produk tanpa logo, menunjukkan robustness pendekatan multimodal reasoning.
- b. Sistem mampu bekerja efektif dalam mode single side input, mengandalkan integrasi vision, web retrieval, dan reasoning untuk mengkompensasi ketiadaan informasi komposisi bahan pada bagian depan kemasan. Strategi web retrieval bertahap dengan prioritas pada sumber kredibel memungkinkan sistem menemukan informasi yang diperlukan dalam 93% kasus.
- c. Pendekatan zero shot multimodal reasoning terbukti efektif untuk mengenali berbagai variasi logo halal internasional tanpa memerlukan dataset training spesifik. Kemampuan GPT 5 Vision untuk melakukan semantic understanding terhadap elemen visual dan tekstual kemasan memungkinkan adaptasi terhadap produk dari berbagai negara.
- d. Sistem menunjukkan awareness terhadap ketidakpastian melalui mekanisme confidence score, memberikan sinyal peringatan implisit ketika bukti tidak mencukupi untuk keputusan dengan keyakinan tinggi. Tidak adanya error dengan

confidence >0.7 mengindikasikan bahwa model "menyadari" ketika reasoning menghadapi keterbatasan informasi.

- e. Implementasi XAI menyediakan transparansi dan keterlacakan keputusan melalui penjelasan yang mencakup bukti visual, analisis bahan, rujukan web, dan alur reasoning. Transparansi ini krusial untuk membangun kepercayaan konsumen Muslim terhadap sistem dan memungkinkan audit independen terhadap keputusan.

Keterbatasan Sistem

Evaluasi juga mengidentifikasi tiga keterbatasan utama yang perlu diperhatikan:

- a. Sistem sangat bergantung pada kelengkapan informasi web. Ketika snippet hasil pencarian tidak mencantumkan daftar bahan lengkap atau tidak menyebutkan bahan kritis secara eksplisit, reasoning tidak memiliki cukup bukti untuk menyimpulkan keharaman. Keterbatasan ini menyebabkan seluruh 7 kasus False Positive yang teridentifikasi dalam pengujian.
- b. Logo palsu dengan kemiripan tinggi terhadap logo resmi masih menjadi tantangan dalam 3 dari 7 kasus error. Meskipun sistem mampu mendeteksi 84% produk berlogo palsu, kemiripan visual yang tinggi dapat menciptakan konflik bukti yang sulit diselesaikan, terutama ketika informasi komposisi bahan dari web juga tidak lengkap.
- c. Waktu eksekusi total sekitar 97 detik belum ideal untuk aplikasi real time yang memerlukan respons instan. Meskipun waktu ini masih dapat diterima untuk verifikasi manual, optimisasi diperlukan jika sistem akan diimplementasikan untuk scanning cepat di konteks retail.

Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan analisis keterbatasan, beberapa rekomendasi perbaikan dapat dirumuskan:

- a. Memperluas cakupan sumber informasi dengan menambahkan pencarian pada database produk internasional (OpenFoodFacts, FoodData Central), implementasi deep web scraping untuk mengakses informasi yang tidak terindeks pada snippet, dan penggunaan multiple search engines untuk meningkatkan coverage.
- b. Memberikan peringatan kepada pengguna ketika confidence score <0.5 dengan rekomendasi verifikasi manual, atau ketika informasi web tidak lengkap terdeteksi dengan saran pencarian sumber tambahan.
- c. Mengembangkan database karakteristik logo palsu yang umum, training untuk mengenali subtle differences antara logo resmi dan tiruan, serta implementasi

verification mechanism dengan cross-check ke database logo resmi dari lembaga sertifikasi.

- d. Implementasi caching hasil SERP API untuk produk yang sering dicari, penggunaan mode inferensi lebih efisien pada komponen reasoning, dan parallel processing untuk komponen yang independen tanpa mengorbankan kualitas XAI.

Dengan implementasi perbaikan-perbaikan ini, diharapkan tingkat spesifisitas sistem dapat ditingkatkan dari 86% menjadi >90%, mengurangi risiko False Positive tanpa mengorbankan recall yang telah mencapai 100%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai pencapaian penelitian, Tabel 5.1 menyajikan keselarasan antara tujuan penelitian yang dirumuskan pada Bab I dengan implementasi dan hasil evaluasi yang diperoleh.

Tabel 5.1 Pencapaian Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian	Implementasi Sistem	Hasil Evaluasi	Status
Computer vision untuk deteksi logo halal multinegara dan OCR kemasan	GPT-5 Vision zero-shot recognition dan OCR multimodal	Recall 100% pada produk halal; 12 lembaga sertifikasi diuji	Tercapai
Web-retrieval berbasis kredibilitas	SERP API dengan strategi pencarian bertingkat (otoritatif-umum-global)	93% kasus menemukan informasi bahan relevan	Tercapai
Framework Explainable AI (XAI)	Structured natural language explanation (5 komponen)	Transparansi tinggi dan confidence score valid	Tercapai
Sistem terpadu berbasis aplikasi mobile	Aplikasi Flutter + pipeline backend	Prototipe fungsional, 97,02 detik per produk	Tercapai

Keempat tujuan penelitian berhasil dicapai dengan trade-off yang telah teridentifikasi, khususnya antara waktu eksekusi dan kualitas reasoning, serta antara akurasi prediksi dan ketersediaan informasi web.

Berdasarkan hasil pengembangan dan evaluasi sistem verifikasi halal berbasis GPT-5 Vision, web-retrieval, dan Explainable AI (XAI) yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

5.1.1 Keberhasilan Pengembangan Sistem Terintegrasi

Penelitian ini berhasil mengembangkan sebuah prototipe sistem pendukung verifikasi kehalalan yang mengintegrasikan empat komponen utama, yaitu computer vision untuk ekstraksi informasi visual dan teks kemasan, web-retrieval untuk penelusuran informasi komposisi bahan dari sumber eksternal, reasoning multimodal berbasis GPT-5, serta Explainable AI (XAI) untuk penyediaan penjelasan keputusan sistem. Sistem mampu memproses citra kemasan produk dan menghasilkan klasifikasi status kehalalan berbasis indikasi (halal, haram, atau syubhat) yang disertai justifikasi terstruktur. Integrasi end-to-end ini menunjukkan bahwa pendekatan multimodal dapat digunakan untuk menyederhanakan proses analisis informasi kehalalan yang sebelumnya terfragmentasi, khususnya pada konteks produk dengan informasi kemasan yang kompleks.

5.1.2 Performa Tinggi dalam Deteksi Produk Halal

Evaluasi terhadap 100 sampel produk menunjukkan performa sangat kuat pada kategori halal, dengan recall sempurna 100% dan akurasi keseluruhan 93%. Tidak ada satupun produk halal yang salah dikategorikan sebagai haram (False Negative = 0), membuktikan bahwa sistem aman digunakan konsumen Muslim tanpa risiko kehilangan akses ke produk halal yang legitimate. Temuan ini sangat penting dari perspektif religius dan praktis, karena memastikan sistem tidak menimbulkan kerugian kepada konsumen maupun produsen halal.

5.1.3 Efektivitas Deteksi Produk Haram dengan Tantangan Spesifik

Sistem mencapai spesifisitas 86% dalam mengidentifikasi produk haram, dengan keberhasilan mendeteksi 43 dari 50 produk haram dengan benar. Tujuh kasus False Positive yang teridentifikasi disebabkan oleh dua faktor eksternal: (1) keterbatasan informasi komposisi bahan pada hasil web-retrieval (4 kasus), dan (2) keberadaan logo halal palsu yang secara visual menyerupai logo resmi sehingga menciptakan konflik bukti (3 kasus). Analisis mendalam menunjukkan bahwa kesalahan bukan disebabkan kelemahan reasoning model, melainkan limitasi availability informasi eksternal dan tantangan interpretasi logo yang sangat menyerupai logo otentik.

5.1.4 Kontribusi Explainable AI terhadap Transparansi dan Kepercayaan

Implementasi XAI melalui structured natural language explanation terbukti efektif meningkatkan transparansi sistem dengan menyediakan lima komponen penjelasan: deskripsi

bukti visual, analisis kontribusi bahan, ringkasan hasil web-retrieval, alur reasoning step-by-step, dan assessment tingkat keyakinan model. Pendekatan intrinsic explainability berbasis GPT-5 mengatasi faithfulness problem yang sering muncul pada metode post-hoc seperti GradCAM atau SHAP, karena penjelasan dihasilkan oleh mekanisme reasoning yang sama dengan pengambil keputusan. Hal ini memastikan pengguna dapat memahami tidak hanya hasil verifikasi, tetapi juga dasar epistemologis dari setiap keputusan sistem.

5.1.5 Kelayakan Implementasi untuk Penggunaan Praktis

Evaluasi waktu eksekusi menunjukkan total durasi rata-rata 97,02 detik per produk, dengan reasoning & XAI menjadi komponen terberat (65,98 detik). Meskipun durasi ini belum ideal untuk aplikasi real-time scanning, waktu tersebut masih sangat acceptable untuk konteks manual verification seperti pembelian produk impor, verifikasi di negara non-Muslim, atau pengecekan produk dengan label ambigu. Trade-off antara kecepatan dan kualitas reasoning yang transparan merupakan pilihan desain yang tepat untuk domain verifikasi halal yang memerlukan akuntabilitas tinggi.

5.1.6 Batasan Fundamental Sistem

Perlu ditegaskan bahwa sistem verifikasi halal yang dikembangkan dalam penelitian ini bersifat indikatif dan rekomendatif berdasarkan informasi publik yang tersedia, bukan sertifikasi halal formal yang hanya dapat dikeluarkan oleh lembaga berwenang seperti BPJPH, JAKIM, atau MUIS. Hasil verifikasi dimaksudkan sebagai alat bantu pengambilan keputusan bagi konsumen, terutama dalam konteks produk multinegara dengan informasi kemasan yang kompleks.

Sistem ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan peran lembaga sertifikasi halal, melainkan melengkapi ekosistem verifikasi halal dengan menyediakan akses informasi yang lebih cepat, transparan, dan dapat ditelusuri. Untuk kasus yang bersifat meragukan atau memerlukan kepastian hukum, pengguna tetap disarankan melakukan verifikasi lanjutan kepada otoritas halal atau ahli fiqih yang kompeten.

5.2 Saran

5.2.1 Saran Teknis

a. Pengembangan Model Deteksi Logo Halal Multinegara

Membangun dataset berlabel yang mencakup ratusan variasi logo halal resmi dari berbagai lembaga internasional (BPJPH, JAKIM, MUIS, IFANCA, MUI, HFA, dll) serta contoh logo palsu yang umum ditemui. Dataset ini dapat digunakan untuk melatih model object detection seperti YOLOv8 atau Faster R-CNN yang spesifik untuk domain logo halal, meningkatkan akurasi deteksi dan kemampuan membedakan logo resmi dari tiruan. Pendekatan ini dapat dikombinasikan dengan zero-shot recognition GPT-5 sebagai fallback mechanism untuk logo yang tidak tercakup dalam training set.

b. Implementasi Knowledge Base Lokal untuk Bahan Pangan

Membangun database lokal yang komprehensif berisi informasi status halal dari ribuan bahan pangan, E-numbers, dan aditif makanan yang telah diverifikasi dari sumber otoritatif (BPJPH, JAKIM, EFSA, FDA, OpenFoodFacts). Database ini dapat di-cache pada aplikasi untuk mempercepat verifikasi bahan yang umum, mengurangi dependensi pada web-retrieval untuk kasus standar, serta meningkatkan stabilitas sistem ketika koneksi internet terbatas. Update berkala dapat dilakukan melalui synchronization dengan server untuk memastikan informasi tetap mutakhir.

c. Fine-Tuning OCR untuk Domain Kemasan Makanan

Melakukan fine-tuning model OCR (PaddleOCR atau EasyOCR) menggunakan dataset khusus kemasan makanan yang mencakup berbagai kondisi challenging seperti teks kecil (<8pt), permukaan melengkung, font dekoratif, glare, dan layout kompleks. Penelitian Nagayi et al. (2025) menunjukkan bahwa OCR general-purpose mengalami penurunan performa signifikan pada domain packaging; fine-tuning spesifik dapat meningkatkan Character Error Rate (CER) dan Word Error Rate (WER) secara substansial.

5.2.2 Saran Metodologis

a. Perluasan Dataset Evaluasi Multi-Regional

Memperbesar dataset uji hingga >500 sampel yang mencakup produk dari berbagai region geografis (Asia Timur, Timur Tengah, Eropa, Amerika) dengan variasi bahasa label yang lebih luas (Arab, Mandarin, Korea, Jepang, Thai, Turki). Dataset harus mencakup distribusi seimbang antara kategori halal/haram/syubhat serta berbagai sub-kategori bahan kritis (porcine derivatives, gelatin, alkohol, E-numbers ambigu). Perluasan ini akan meningkatkan robustness evaluasi dan validitas eksternal temuan.

b. Analisis Mendalam terhadap Confidence Calibration

Melakukan evaluasi sistematis terhadap kalibrasi confidence score yang dihasilkan model dengan actual accuracy untuk mengidentifikasi apakah model over-confident atau under-confident pada kategori tertentu. Analisis ini dapat menggunakan metrik seperti Expected Calibration Error (ECE) dan reliability diagrams untuk memastikan bahwa threshold confidence yang direkomendasikan kepada pengguna (misal: <0.5 = uncertain) secara statistik valid.

c. Studi Komparatif dengan Metode Alternatif

Melakukan perbandingan sistematis antara pendekatan zero-shot multimodal (GPT-5) dengan metode alternatif seperti: (1) fine-tuned YOLO/Faster R-CNN untuk logo detection + PaddleOCR + rule-based classification, (2) Retrieval-Augmented Generation (RAG) dengan vector database untuk ingredient verification, dan (3) hybrid approach yang menggabungkan kekuatan masing-masing. Komparasi ini dapat menggunakan metrik performa, waktu eksekusi, cost per inference, dan user trust sebagai dimensi evaluasi.

5.2.3 Saran Implementasi Praktis

a. Pengembangan Aplikasi Mobile dengan Dual-Mode Interface

Mengimplementasikan aplikasi mobile dengan dua mode operasi: (1) Quick Scan Mode untuk verifikasi cepat tanpa XAI detail (target <30 detik), dan (2) Deep Verification Mode dengan penjelasan komprehensif untuk kasus yang memerlukan justifikasi mendalam (target <2 menit). Aplikasi dapat menggunakan caching, offline database untuk bahan umum, dan progressive loading untuk meningkatkan user experience. Feedback visual seperti progress indicator dapat mengurangi perceived latency.

b. Kolaborasi dengan Lembaga Sertifikasi Halal Resmi

Menjalin kemitraan strategis dengan BPJPH (Indonesia), JAKIM (Malaysia), MUIS (Singapura), atau IFANCA (International) untuk: (1) integrasi API database produk bersertifikat halal resmi, (2) verifikasi keaslian logo halal secara real-time melalui digital signature atau QR code validation, (3) akses ke informasi supply chain dan audit reports untuk produk tertentu, dan (4) validasi sistem oleh ahli fiqih muamalah untuk memastikan kesesuaian reasoning dengan prinsip syariah.

c. Implementasi Crowdsourcing dan Community Feedback

Membangun fitur crowdsourcing yang memungkinkan komunitas pengguna untuk: (1) melaporkan logo mencurigakan atau produk dengan informasi misleading, (2)

memberikan feedback terhadap akurasi verifikasi sistem, (3) menambahkan informasi komposisi bahan untuk produk yang tidak memiliki presence online, dan (4) berbagi temuan baru tentang bahan atau produk haram yang belum terdokumentasi. Mekanisme moderasi dan voting dapat memastikan kualitas kontribusi komunitas.

Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi kecerdasan buatan, khususnya multimodal AI dan XAI, memiliki potensi transformatif untuk mendukung ekosistem halal global. Melalui pengembangan berkelanjutan yang mengintegrasikan feedback pengguna, kolaborasi dengan otoritas halal, dan inovasi teknis yang responsif terhadap keterbatasan yang teridentifikasi, sistem ini dapat berkembang menjadi solusi praktis yang andal bagi ratusan juta konsumen Muslim di seluruh dunia dalam memastikan keamanan dan kehalalan produk yang mereka konsumsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboyomi, D. D., & Daniel, C. (2023). A Comparative Analysis of Modern Object Detection Algorithms: YOLO vs. SSD vs. Faster R-CNN. *ITEJ (Information Technology Engineering Journals)*, 8(2), 96–106. <https://doi.org/10.24235/itej.v8i2.123>
- Adnan, L. (2025, June 25). E-Numbers Guide for Halal Consumers in the UK. Retrieved November 20, 2025, from The Halal Times website: <https://www.halaltimes.com/e-numbers-guide-for-halal-consumers-in-the-uk/>
- Al-Juzairi, A. (2015). *Fikih Empat Madzhab* (Vol. 3). Jakarta: Pustaka Al-Kautsar.
- Alkentar, S. M., Alsahwa, B., Assalem, A., & Karakolla, D. (2021). Practical comparison of the accuracy and speed of YOLO, SSD and Faster RCNN for drone detection. *Journal of Engineering*, 27(8), 19–31. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2021.08.02>
- Aydın, A., Arslan, A., & Dinçer, B. T. (2024). A set of novel HTML document quality features for Web information retrieval: Including applications to learning to rank for information retrieval. *Expert Systems with Applications*, 246, 123177. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123177>
- Budhkar, A., Song, Q., Su, J., & Zhang, X. (2025). Demystifying the black box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI) in bioinformatics. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 27, 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2024.12.027>
- Comparing YOLOv8, SSD, and Faster-RCNN for Real-Time Object Detection. (2024, December 30). Retrieved November 22, 2025, from <https://app.readytensor.ai/publications/comparing-yolov8-ssd-and-faster-rcnn-for-real-time-object-detection-IbA4gAvuaYW8>
- DeGuide, A. (2022, December 1). IFANCA Survey Uncovers the Need for Consumer Education & Access to Halal-certified Products. Retrieved November 20, 2025, from IFANCA website: <https://ifanca.org/ifanca-survey-uncovers-the-need-for-consumer-education-access-to-halal-certified-products/>
- Espinosa, C. (n.d.). Topic: Global halal market. Retrieved November 20, 2025, from Statista website: <https://www.statista.com/topics/4428/global-halal-market/>
- Fathima, A. M., Rahmawati, L., Windarsih, A., & Suratno. (2024). Advanced Halal Authentication Methods and Technology for Addressing Non-Compliance Concerns in

- Halal Meat and Meat Products Supply Chain: A Review. *Food Science of Animal Resources*, 44(6), 1195–1212. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e75>
- Gateway, S. (n.d.). A fondness for green—Halal certification logos around the world. Retrieved November 20, 2025, from Salaam Gateway—Global Islamic Economy Gateway website: <https://salaamgateway.com/story/halal-certification-logos-around-the-world-the-good-the-bad-and-the-misunderstood>
- Gita Purnama, D., Mahendra Djuanda, D. R., & Albart, N. (2023). Pengembangan Aplikasi Pencarian Artikel Ilmiah Berbasis Mobile. *Technomedia Journal*, 8(2SP), 135–150. <https://doi.org/10.33050/tmj.v8i2SP.2010>
- Halal Food Market Size | Industry Statistics, Trends—2033. (n.d.). Retrieved November 20, 2025, from <https://www.imarcgroup.com/halal-food-market>
- Islamic Services of America. (n.d.-a). Identify Cross Contamination | ISA Halal. Retrieved November 20, 2025, from Islamic Services of America website: <https://www.isahalal.com/news-events/blog/8-red-flags-identify-cross-contamination-food-halal-industry>
- Islamic Services of America. (n.d.-b). Ingredients & E-Codes | ISA Halal. Retrieved November 20, 2025, from Islamic Services of America website: <https://www.isahalal.com/news-events/blog/know-your-ingredients-halal-food-science-101-and-e-codes>
- Iswahyudi, I., Hindarto, D., & Santoso, H. (2023). PyTorch Deep Learning for Food Image Classification with Food Dataset. *Sinkron*, 8(4), 2651–2661. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i4.12987>
- Leon, M. (2026). GPT-5 and open-weight large language models: Advances in reasoning, transparency, and control. *Information Systems*, 136, 102620. <https://doi.org/10.1016/j.is.2025.102620>
- Linardatos, P., Papastefanopoulos, V., & Kotsiantis, S. (2020). Explainable AI: A Review of Machine Learning Interpretability Methods. *Entropy*, 23(1), 18. <https://doi.org/10.3390/e23010018>
- Lioma, C., Simonsen, J. G., & Larsen, B. (2017, August 23). *Evaluation Measures for Relevance and Credibility in Ranked Lists*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1708.07157>
- Mastercard-CrescentRating Global Muslim Travel Index reveals trends shaping the future of Halal travel. (n.d.). Retrieved November 20, 2025, from <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/

- Mastroianni, A., & Sager-Müller, S. D. (n.d.). *Validation of ML Models from the Field of XAI for Computer Vision in Autonomous Driving*.
- Nafi', A., Avivi, S., Kuswandi, B., & Rohman, A. (2025). E-nose for halal food authentication: A review. *Food Research*, 9(3), 235–244. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.9\(3\).061](https://doi.org/10.26656/fr.2017.9(3).061)
- Nagayi, M., Khan, A., Frank, T., Swart, R., & Nyirenda, C. (2025, October 3). *Evaluating OCR performance on food packaging labels in South Africa*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.03570>
- Ramdania, D. R., Aziz, R. M., Mulyana, E., Kaffah, F. M., Maylawati, D. S., Al-Amin, M. I., & Ramdhani, M. A. (2022). Convolutional Neural Network for Halal Detection of Korean Cosmetic Composition. *2022 8th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 1–6. Yogyakarta, Indonesia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICWT55831.2022.9935484>
- Sari, P. A., & Razi, A. (n.d.). *IMPLEMENTASI ALGORITMA LEXICAL CHAIN UNTUK APLIKASI PENCARIAN JURNAL SINTA BERBASIS WEB*.
- Seyedmomeni, F., & Keyvanrad, M. A. (n.d.). *Explaining What Machines See: XAI Strategies in Deep Object Detection Models*.
- sucofindo. (2024, May 13). 10 Latest International Halal Certification Logos. Retrieved November 20, 2025, from Sucofindo website: <https://www.sucofindo.co.id/en/articles/10-latest-international-halal-certification-logos/>
- The Rise of Explainable AI (XAI): A Critical Trend for 2025 and Beyond. (n.d.). Retrieved November 20, 2025, from <https://blog.algoanalytics.com/2025/05/05/the-rise-of-explainable-ai-xai-a-critical-trend-for-2025-and-beyond/>
- Tjoa, E., & Guan, C. (2021). A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI): Toward Medical XAI. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(11), 4793–4813. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2020.3027314>
- Travelling Abroad, Here's An Easy Way To Recognize Halal Products | Lembaga Pemeriksa Halal (LPH) LPPOM Sertifikasi Halal. (2025, June 2). Retrieved November 20, 2025, from <https://halalmui.org/en/travelling-abroad-heres-an-easy-way-to-recognize-halal-products/>

- Tuhin, M. (2025, April 25). What Is Explainable AI and Why It's Critical for Trust. Retrieved November 20, 2025, from Science News Today website: <https://www.sciencenewstoday.org/what-is-explainable-ai-and-why-its-critical-for-trust>
- Wang, S., Hu, M., Li, Q., Safari, M., & Yang, X. (2025, August 13). *Capabilities of GPT-5 on Multimodal Medical Reasoning*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.08224>
- Wibowo, E., & Pratama, I. (2024). Analisis Sentimen Terhadap Ulasan Hotel Melalui Platform Google Review Menggunakan Metode Stacking. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 6(4), 774–784. <https://doi.org/10.47233/jteksis.v6i4.1475>
- XAI in Action: Real-World Use Cases for Explainable AI in Finance and Healthcare | UlapX. (n.d.). Retrieved November 20, 2025, from <https://www.ulapx.ai/resources/xai-in-action-real-world-use-cases-finance-healthcare>
- Yusop, N., Kamalrudin, M., Mocketar, N. A., & Mustafa, N. (2025). The Role of Language in Malaysia's Halal Food Industry: Trends, Challenges, and Future Directions. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, IX(II), 437–445. <https://doi.org/10.47772/IJRISS.2025.9020037>

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

test_data > results > Category1 > results_category_1_20251127_111242.csv												
id	testCaseId	category	productName	groundTruth	predictedStatus	confidence	visionTime	serpAPITime	reasoningTime	totalTime	isTruePositive	isTrueNegative
1	26d5e7b4-6d79-4132-9588-065ca0cbbec1	tc_1	1	Biskuit	halal	halal	0.9280	6989	9623	60496	77833	true
2	bc9d209e-192d-46cb-af91-fbbc23a4dc72	tc_3	1	BurgerspicyChicken	halal	halal	0.3580	14561	21249	45941	81755	true
3	58a792ef-661c-4d87-903e-7f7aa8286692	tc_4	1	Chitato	halal	halal	0.9580	7983	10337	53823	72371	true
4	14f9cc73-f85a-4e86-904a-ac0b47d43a13	tc_5	1	Chocolatos	halal	halal	0.9780	12528	23789	49966	86819	true
5	3d28b1a6-6b98-4633-8306-4ab92d02740	tc_7	1	GhostPaper	halal	halal	0.9880	6834	6852	85533	99221	true
6	d1079ede-366d-47ba-bf97-8142f99ad996	tc_8	1	HupSeng	halal	halal	0.9280	12378	7939	49779	78116	true
7	871b7782-7914-43aa-844e-4d2e5621dfe1	tc_9	1	KawanParatha	halal	halal	0.7280	7829	5888	63428	76156	true
8	cab801f9-fa22-463d-894b-12c4401d51b5	tc_10	1	KhongGuan	halal	halal	0.9580	18820	14251	62712	95065	true
9	e1968f2-5f0b-4938-81ff-ebb8bdeea895	tc_12	1	name-monster-snack-ni	halal	halal	0.6480	14243	7190	109746	131188	true
10	c8b25a64-4f5e-4433-9c2c-3d62b1922147	tc_13	1	MeijiChocorooms	halal	halal	0.5580	6788	21197	108577	128747	true
11	bfd0bb82-1270-4724-b97f-0bdab74ffe4d	tc_14	1	NabatiKeju	halal	halal	0.6280	19296	14818	88499	115038	true
12	b367c395-528a-4e8f-98d6-65bb9471aa34	tc_15	1	NongshinShinRamyunShrimpFlavorMieInstan	halal	halal	0.9880	8269	7856	67597	82952	true
13	ffe0b997-9f42-439b-a9e2-a718a38fccc22	tc_17	1	OatKrunch	halal	halal	0.9680	9282	8667	85361	103313	true
14	80e7c36b-bb49-4a19-a7b0-c7d14991ccdc	tc_18	1	oreo	halal	halal	0.9780	14832	36646	52338	103847	true
15	7a8c7d48-f778-45b6-a9e9-5ab8c838000e	tc_20	1	Samyang-Buldak-Carbonara-Hot-Chicken	halal	halal	0.9280	15427	6858	58851	81162	true
16	38a4c98-7bf2-4452-a3aa-b0ed77254ef	tc_21	1	SariKueCheesecake	halal	halal	0.5580	6989	19968	79829	107494	true
17	d5d8c2bc-b6d0-4e77-af74-dba4b3d4c9de	tc_22	1	SariRotiSuperCreamy	halal	halal	0.9780	11732	10516	57909	79374	true
18	319ffc25-0fab-4651-a05e-4f431d3d873	tc_23	1	SariRotiTawar	halal	halal	0.9680	12955	6888	66617	88415	true
19	127d0bae-bf2d-47d1-8c1c-879ae617fec1	tc_25	1	TongGarden	halal	halal	0.9280	6721	34502	63279	106407	true
20	9a71488c-f5f6-4a45-a679-4518dafa5e2e	tc_6	1	ChocoPie	halal	halal	0.9580	12924	23914	55861	92891	true
21	21f1243b-8270-4af5-af0f-b1c35e2e8da0	tc_16	1	NutsHoLic	halal	halal	0.9880	12848	23991	54249	91233	true
22	bd51debd-134e-475b-b13b-9bd2cb7ba77d	tc_19	1	Pocky	halal	halal	0.9680	9571	31631	69927	111473	true
23	5a49d4d8-5d61-46ef-aa2a-5c88953c0e6e	tc_2	1	Brahim_Chicken_Curry_with_potatoes	halal	halal	0.9580	12145	26378	63767	102286	true
24	70e60729-43dc-462c-90e2-3bc0aa38f9e5	tc_24	1	Tao-Kae-Noi-Seaweed	halal	halal	0.9280	12285	16658	46024	74883	true
25	3a2f4646-f644-4db3-8593-cfb33a08e1f	tc_11	1	Mama_Instan_Noodle_TonYum	halal	halal	0.9580	13686	11945	106553	132192	true

test_data > results > Category2 > results_category_2_20251127_135939.csv												
id	testCaseId	category	productName	groundTruth	predictedStatus	confidence	visionTime	serpAPITime	reasoningTime	totalTime	isTruePositive	isTrueNegative
1	2ec2f99a-c685-418a-915a-18a3884dd220	tc_1	2	CiriBakedBeans	halal	halal	0.4280	7511	7434	45854	60824	true
2	2faade74-4142-44ee-9b4a-759f879592ef	tc_3	2	LotusDumStick	halal	halal	0.3580	32457	22163	66263	128866	true
3	0a7950aa-327b-4e94-ae91-dfeb4708e64e	tc_4	2	CrownButterWaffles	halal	halal	0.4580	7084	9138	66725	82958	true
4	812c7f32-8c88-49af-abe9-caa7ae7424f9	tc_5	2	Wanahong	halal	halal	0.4880	9855	7344	56411	75614	true
5	47621f29-81cf-4e97-b455-f02ba9e8080a	tc_6	2	NongshinBananaKack	halal	halal	0.5680	14357	28239	76325	128422	true
6	9e2a942d-3a8a-4c97-826e-0159ef14a415	tc_7	2	CalbeeJagabee	halal	halal	0.5580	8118	17830	69972	95926	true
7	c888a0fb-6517-40e8-b4c1-385380a18183	tc_8	2	RitterSport	halal	halal	0.3880	11820	26889	79698	117912	true
8	90a9524-8170-4b0b-a13a-03f0406611b	tc_9	2	DeCoccoPenneRigate	halal	halal	0.7480	10686	12374	63522	86599	true
9	70c0a40f-842e-4384-989f-c5b10c6f403b	tc_10	2	ComLakes	halal	halal	0.7080	14346	31864	91218	137227	true
10	8314300e-adff-4c44-801b-af9f70a15a2a	tc_11	2	motvitiesDigestives	halal	halal	0.3580	8748	7148	68834	84727	true
11	7270a6fc-7844-419e-af88-a68882389a74	tc_12	2	LotudBiscoff	halal	halal	0.7880	6246	21019	62241	89933	true
12	142c3858-124d-434d-9890-82a9775a5d0d	tc_13	2	CreamyCandy	halal	halal	0.3580	7325	22498	84698	113992	true
13	a94ea8fb-ae81-4cef-aecc-14647b4d9fea	tc_14	2	KonKaePanauts	halal	halal	0.4080	15842	35263	95347	146658	true
14	fa2f1a23-d2ae-4f6f-92c1-ca8722e802b4	tc_15	2	Locker	halal	halal	0.4080	6865	9746	64438	80253	true
15	ae4d7ca1-078e-4808-bd0f-d87e24bfe4f3	tc_18	2	HouseFoodsOrganicTofu	halal	halal	0.8280	12836	14525	86533	118997	true
16	c588b17c-30c5-47c1-98b5-e7b2813e9bd5	tc_20	2	Dried_Mango	halal	halal	0.4280	6658	33699	54110	94711	true
17	e99cf0f4-ac23-476f-b9a1-dd116083b8cf	tc_21	2	Ritz Crackers	halal	halal	0.4580	9520	28361	57121	87010	true
18	42f10474-f79a-411c-beca-87f1c3143832	tc_22	2	Korean_seaweed_gim	halal	halal	0.7080	19437	33213	58127	102936	true
19	835c247f-9f3a-4809-8aad-f9bd39c3c11e	tc_23	2	Walkers-ShortBread	halal	halal	0.7080	9812	13917	77164	108230	true
20	0803c0d0-8983-4373-9d7f-07fbc32e8d6	tc_24	2	Sanco-Parinco	halal	halal	0.6280	12846	13757	54155	79963	true
21	e6d10d01-1802-4a91-b648-7a2747a1ea7c	tc_25	2	Lotte_pepero_nImond_halal	halal	halal	0.3580	9991	28579	106017	144828	true
22	bfbcd239-7c5e-4c62-bf84-aa8921389a61	tc_2	2	NongshinSaeuokkang	halal	halal	0.3580	7231	8556	57181	72972	true
23	f8aced08-7683-4c09-a12b-d8a10f8ed088	tc_16	2	BarillaSpaghettti	halal	halal	0.8580	7389	32517	51861	93025	true
24	8eb7f0ad-50cc-449b-8ebf-74f8b590228	tc_17	2	PlantersMixedNuts	halal	halal	0.7080	6162	38636	46623	83741	true
25	46fe509e-43c3-43af-9ac2-95988914dd8	tc_19	2	LinkExcellence	halal	halal	0.3580	18558	11082	78088	91731	true

test_data > results > Category3 > results_category_3_20251127_123719.csv												
id	testCaseId	category	productName	groundTruth	predictedStatus	confidence	visionTime	serpAPITime	reasoningTime	totalTime	isTruePositive	isTrueNeg
1	8984d429-3d3d-4593-b329-dfeeb37f7b63	tc_1	3	OrionChocoPieOriginal	haram	haram	0.7280	18846	10805	76813	103673	false
2	49bc65b0-a704-48c1-880c-9ca7b11080c1	tc_2	3	Fiorucci	haram	haram	0.9880	10312	13449	44571	68336	false
3	d1a65fcd-cdb7-453b-b561-7d07072e0262	tc_3	3	Rovagnati	haram	haram	0.9980	6938	14622	48187	67958	false
4	ec08e274-e2ab-4784-a158-2701e9f85d4f	tc_4	3	TUC	haram	haram	0.7080	6877	11117	69181	87178	false
5	50ddcc1e-e129-4c8b-ac93-ac0c1aee1a1c	tc_5	3	Horne1Pepperoni	haram	haram	0.9880	5514	9839	44303	59153	false
6	17fbd1ee-ef05-470f-9032-d27e7b07a703	tc_9	3	GoyaChicharrones	haram	haram	0.9680	7468	28275	29214	56961	false
7	5a5b0754-592b-4d8a-bc8a-d88a98c22f89	tc_10	3	Kolkeya Strong Potato	haram	haram	0.6880	12770	7873	67681	88328	false
8	e8d9222c-e004-485c-a88c-fa14c045750b	tc_11	3	Peperami	haram	haram	0.9680	7142	7802	40629	53378	false
9	39cb21f2-3695-4bf0-b3cf-2e13ca75a90a	tc_12	3	MarutaKumanoto	haram	haram	0.9880	13934	13636	44623	71957	false
10	f5fd758b-cb5d-4132-9c18-3f9da8889a61	tc_14	3	LaysRoastedPork	haram	haram	0.8880	13805	10561	73364	96992	false
11	50de28fe-aad9-452b-af5e-7e19c7609fac	tc_16	3	SpamClassic	haram	haram	0.9980	5616	9883	66722	82227	false
12	b0d21a7f-f713-460f-b78e-70d504d45b2b	tc_17	3	IchiranRamenTonkotsu	haram	haram	0.9880	8888	35124	78481	123805	false
13	34d49c9b-d839-4c65-aade-e30cc0d0c52c	tc_6	3	TokyoBanana	haram	halal	0.3880	5974	13088	69839	88027	false
14	8ae2d87a-d07e-4107-bf03-1ef0e3c0c5cc	tc_7	3	GulnessPotato	haram	haram	0.7080	15425	11590	71521	98554	false
15	0ae1ef83-ebaf-4e6b-a439-a01b92424296	tc_8	3	Baknetts	haram	haram	0.9980	13964	13077	48463	75662	false
16	2b7f9043-ae84-484f-ae87-10793290a233	tc_18	3	ChorizoSatoPackaging	haram	haram	0.9880	5312	8716	63366	77417	false
17	a0182cc8-ebc9-4930-a40e-fd0209d35a10	tc_19	3	PringlesBacon	haram	halal	0.6880	8098	28286	88657	117064	false
18	d5e443c8-645f-4e7f-917e-12398a92d01	tc_20	3	KitKatSake	haram	haram	0.9880	12719	57984	81821	132884	false
19	c5c4f8eb-c86c-4084-908c-201b22765c20	tc_21	3	NongshinChapagetti	haram	halal	0.3580	26289	29827	84275	140768	false
20	f0d72a8d-60b3-4945-811f-89a1458fedad	tc_22	3	JackLinksPorkJerky	haram	haram	0.9980	6588	25628	56958	87362	false
21	4186c31a-6084-4f08-ae89-99e5b1c66e7b	tc_24	3	Thai Tom Yum Pork Instant Noodles	haram	haram	0.9880	14450	18787	46841	80180	false
22	82b1a34b-b693-4108-839f-fcc949a5451c	tc_25	3	MalingLuncheon	haram	haram	0.9980	16627	12048	38396	67185	false
23	b083348f-1479-4399-b041-89e110352123	tc_15	3	Bea Cheng Hiang	haram	haram	0.9980	12367	33772	35771	82293	false
24	482b74f1-2a43-42ac-9794-b580e258c99b	tc_23	3	HariJab-GoldBaren	haram	haram	0.6280	7486	7290	76383	91163	false
25	14e0d59c-6ca8-41c9-ae67-d9598ba6937	tc_13	3	NissinCupNoodle	haram	haram	0.9880	19854	27956	69947	117760	false

test_data > results > Category4 > results_category_4_20251127_172234.csv

	id	testCaseId	category	productName	groundTruth	predictedStatus	confidence	visionTime	serpAPITime	reasoningTime	totalTime	isTruePositive	isTrueNegative
1	f97e44f4-91f7-4116-9d28-c18ae5effeef	tc_15	4	Maling_Fiktif	haram	haram	0.9900	13895	11695	49516	75215	false	true
2	8d8d14d5-48b6-48a8-ab83-e9a87ac2df36	tc_16	4	Marutaikumanoto_Fiktif	haram	haram	0.9700	25908	51838	78984	148901	false	true
3	e8831717-8f22-4ef5-8ec3-37c35a83551a	tc_1	4	BakensEts_Fiktif	haram	haram	0.9900	17199	28733	85199	129138	false	true
4	8d43f2e9-babe-45c6-b976-6ff02436d9b6	tc_2	4	BeeChengHiang_Fiktif	haram	haram	0.9800	22025	18720	82033	123014	false	true
5	9f1c1b02-7f45-46ca-9770-14b0ec23d78f	tc_4	4	CupWoodLeSeafood_Fiktif	haram	haram	0.9800	49995	21564	79669	152041	false	true
6	f6b1158a-c807-4664-8cb9-dbcdfc6515bb	tc_5	4	Forucci_Fiktif	haram	haram	0.9900	18179	23334	69961	103484	false	true
7	b0da133c-80e5-41cc-80fc-91b8470dca11	tc_6	4	Goya_Fiktif	haram	haram	0.9900	11180	21086	51955	84749	false	true
8	83cac8f3-d210-4351-8c8e-3f90fa73afe8	tc_10	4	IchiranRamen_Fiktif	haram	haram	0.9500	16837	20027	47585	83991	false	true
9	3a20205d-4988-4675-b28d-8579c7fcb0c5	tc_11	4	JackLunksBBQpork_Fiktif	haram	haram	0.9800	15789	8697	69424	93916	false	true
10	96544973-bd32-4969-9afa-e23b90f686d0	tc_12	4	KitkatSake_Fiktif	haram	haram	0.9500	13215	25299	59811	98645	false	true
11	38681393-9776-423c-b42e-348b95af2183	tc_13	4	KoikeyaStrongPotato_Fiktif	haram	haram	0.0000	38127	12738	113813	156751	false	true
12	cec7d033-135a-4821-87b5-61831f350589	tc_14	4	LaysBacon_Fiktif	haram	haram	0.9000	19533	13376	91457	124399	false	true
13	66953339-4fc9-4f97-99ee-f77ae5b85ad0	tc_18	4	Peperami_Original_Fiktif	haram	haram	0.9300	18825	7342	35148	53323	false	true
14	2e6516a8-a022-4706-bd27-ab8493a8e25f	tc_19	4	PringlesBacon_Fiktif	haram	halal	0.0500	8626	17570	57263	83643	false	false
15	8d13d716-d07c-42e0-bd08-c470902a8023	tc_20	4	Rovagnati_Fiktif	haram	haram	0.9800	20749	38568	42523	105010	false	true
16	fe98485d-ba65-4bb6-8140-e241094ae082	tc_23	4	TheIthonyUM_fiktif	haram	haram	0.9500	28072	31923	62109	116097	false	true
17	e2d8ea36-521f-4a42-9394-2ccf62b978e7	tc_24	4	Tokyo_Banana_Fiktif	haram	halal	0.3800	18957	7267	79208	97514	false	false
18	848f361c-8e3c-44f4-ad7b-3c29340e2151	tc_25	4	Tuc_Fiktif	haram	halal	0.3500	14883	11451	85085	111137	false	false
19	95f8a08e-0c48-42e8-bab6-1e99710903a8	tc_3	4	Chapagetti_Fiktif	haram	halal	0.0500	13207	34312	61746	109278	false	false
20	8c4a94a8-6352-4c14-8c52-45b74128cd7f	tc_7	4	Bulnes_Fiktif	haram	haram	0.6200	17825	15190	102333	135358	false	true
21	2c0f8e0b-1474-46d8-8022-c7aeefcdd6ac	tc_8	4	Haribo_Fiktif	haram	haram	0.7000	12337	19044	68724	108346	false	true
22	8bfeee1c-5177-4ff4-9848-573dcb51edbe	tc_9	4	HorwelPepperoni_Fiktif	haram	haram	0.9600	11850	13352	61677	86328	false	true
23	c808fde3-3c0f-40e4-8e70-6dd176fdad1	tc_17	4	OrionChocoPie_Fiktif	haram	haram	0.5800	9642	12054	55377	77891	false	true
24	2541bd53-2d8a-4dce-9184-0eb0cd9e5ff0	tc_21	4	Spam_Fiktif	haram	haram	0.9500	9792	8449	50398	68662	false	true
25	b38c2e1d-b0b9-40e9-b26f-9c52d986355c	tc_22	4	Tapas_Fiktif	haram	haram	0.9800	11924	7792	67951	87691	false	true