

Pasar pariwisata halal global mengalami masalah fragmentasi pengetahuan. Informasi tentang layanan yang sesuai syariah tersebar di berbagai sumber yang tidak terhubung. Hal ini menyulitkan wisatawan Muslim dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengambil keputusan yang tepat. Graf pengetahuan pariwisata yang ada saat ini hanya memberikan solusi parsial. Graf pengetahuan tersebut tidak memiliki representasi spesifik domain untuk persyaratan Islam dan mekanisme kontrol kualitas untuk informasi yang sensitif secara religius. Penelitian ini mengatasi kesenjangan tersebut dengan membangun Halal Tourism Knowledge Graph (HTKG) pertama menggunakan metodologi baru berbasis AI. Penelitian ini mengintegrasikan data pariwisata halal yang tersebar sembari memastikan representasi akurat persyaratan Islam melalui ontologi tervalidasi pakar dan mekanisme pengendalian mutu. HTKG merupakan suatu graf pengetahuan yang mengintegrasikan informasi pariwisata halal dari berbagai sumber data sekunder, dan tidak dimaksudkan menjadi kerangka kerja sertifikasi halal atau pun pengambilan keputusan religius.

Penelitian ini menggunakan metodologi lima fase yang mencakup pengembangan ontologi, evaluasi sumber, ekstraksi berbasis AI, integrasi pengetahuan, dan validasi. Pendekatan ini memperkenalkan tiga inovasi metodologis yang membedakannya dari studi graf pengetahuan pariwisata sebelumnya. Pertama, penelitian ini mengembangkan SAFAROnto, ontologi pariwisata halal spesifik domain yang memformalkan konsep kepatuhan terhadap prinsip-prinsip Islam yang tidak diakomodasi pada ontologi pariwisata umum. Kedua, penelitian ini menciptakan *pipeline* konstruksi berbasis AI yang mengintegrasikan Large Language Models untuk evaluasi sumber pengetahuan dan ekstraksi pengetahuan yang sadar budaya. Kerangka validasi *human-in-the-loop* mendukung hal ini. Ketiga, penelitian ini menanamkan mekanisme pengendalian mutu pada setiap fase, bukan hanya selama fase ekstraksi dan integrasi semata. Hal ini memastikan keaslian dan keandalan informasi yang sensitif secara religius.

Penelitian ini menghasilkan tiga kontribusi tervalidasi yang ditunjukkan melalui studi kasus Jepang. Pertama, SAFAROnto menangkap kesesuaian prinsip-prinsip Islam melalui hierarki terstruktur dengan 10 kelas utama, 75 subkelas, dan 401 properti. Ontologi ini memperoleh penilaian pakar yang baik di semua kriteria evaluasi (berkisar antara 4,0 hingga 4,5 dari 5). Penilaian teknis menggunakan *framework* OQuARE menunjukkan bahwa 78% metrik mencapai peringkat “Excellent” atau “Good”. Kedua, *pipeline* ekstraksi pengetahuan berbasis AI menunjukkan kinerja yang andal. LLM dapat mereplikasi penilaian pakar dalam mengevaluasi sumber pengetahuan dengan koefisien korelasi melebihi 0,9 dan nilai-p 0,8-1,0. Sementara itu, GPT-4o-mini mencapai skor 0,973 di semua metrik kinerja (*precision*, *recall*, F1-score, dan *accuracy*) dengan kestabilan yang tinggi (*standard deviation* di bawah 0,05) pada proses ekstraksi. Hal ini memastikan representasi akurat persyaratan Islam melalui kesepakatan yang kuat dengan penilaian pakar ($r > 0.9$). Ketiga, HTKG berhasil mengintegrasikan data wisata halal yang heterogen ke dalam struktur pengetahuan terpadu. Graph ini memuat 2.331 node dan 184.460 relasi dengan waktu respons query berkisar antara 4,682 hingga 45,047 milidetik. Secara praktis, sistem ini memberdayakan wisatawan Muslim dengan alat pengambilan keputusan yang terpercaya. Sistem ini menyediakan data terintegrasi bagi pembuat kebijakan untuk tata kelola sertifikasi. Di luar domain wisata halal, metodologi ini menawarkan kerangka kerja yang dapat digunakan kembali untuk membangun sistem pengetahuan



Constructing a Knowledge Graph to Resolve Knowledge Fragmentation in Halal Tourism: an AI-enhanced Methodology with Integrated Quality Control

Hendrik, Ir. Adhistya Erna Permanasari, S.T., M.T., Ph.D. ; Silmi Fauziati, Dr.Eng., S.T., M.T.

Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

yang sensitif budaya pada domain lain seperti akreditasi layanan kesehatan, sertifikasi makanan, dan kredensial pendidikan.

Kata Kunci: Wisata halal, *knowledge graph*, *artificial intelligence*, *large language models*, pengembangan ontologi, rekayasa pengetahuan.

The global halal tourism market faces severe knowledge fragmentation. Information about halal-compliant services is scattered across disconnected sources. This makes it difficult for Muslim travelers and other stakeholders to make informed decisions. Existing tourism knowledge graphs provide only partial solutions. They lack domain-specific representations of Islamic requirements and quality control mechanisms for religiously sensitive information. This research addresses these gaps by constructing the first Halal Tourism Knowledge Graph (HTKG) with a novel AI-enhanced methodology. It integrates scattered halal tourism data while ensuring accurate representation of Islamic requirements through expert-validated ontology and quality control mechanisms. HTKG is a knowledge graph that integrates halal tourism information from secondary sources and is not meant to be a halal certification or religious decision-making framework.

The study employs a five-phase methodology. It encompasses ontology development, source evaluation, AI-enhanced extraction, knowledge integration, and validation. This approach introduces three methodological innovations that differentiate it from previous tourism knowledge graph studies. First, it develops SAFAROnto, a domain-specific halal tourism ontology that formalizes Islamic compliance concepts overlooked in general tourism ontologies. Second, it creates an AI-enhanced construction pipeline that integrates Large Language Models for source assessment and culturally aware extraction. A human-in-the-loop validation framework supports this. Third, it embeds a quality control mechanism at every phase rather than only during extraction and fusion. This ensures authenticity and reliability for religiously sensitive information.

The research delivers three validated contributions demonstrated through a Japan case study. First, SAFAROnto captures Islamic compliance through structured hierarchies with 10 main classes, 75 subclasses, and 401 properties. It achieves strong expert ratings across all evaluation criteria (ranging from 4.0 to 4.5 out of 5). The OQuARE technical assessment shows that 78% of metrics achieved "Excellent" or "Good" ratings. Second, the AI-enhanced extraction pipeline demonstrates reliable performance. LLMs can replicate expert judgment for source evaluation with correlation coefficients exceeding 0.9 and p-values of 0.8-1.0. Meanwhile, GPT-4o-mini achieved 0.973 across all performance metrics (precision, recall, F1-score, and accuracy) with high stability (standard deviation under 0.05) in the extraction process. This ensures accurate representation of Islamic requirements through strong agreement with expert judgments ($r > 0.9$). Third, the HTKG successfully integrates heterogeneous halal tourism data into a unified knowledge structure. It contains 2,331 nodes and 184,460 relationships with query response times of 4.682 to 45.047 milliseconds. Practically, this system empowers Muslim travelers with trustworthy decision-making tools. It provides policymakers with integrated data for certification governance. Beyond halal tourism, this methodology offers a reusable framework for building culturally sensitive knowledge systems in domains such as healthcare accreditation, food certification, and educational credentialing.

Keywords: Halal tourism, knowledge graph, artificial intelligence, large language models, ontology development, knowledge engineering.