Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana
Volume 15, No 1. August 2026

p-ISSN: 2301-5373
e-ISSN: 2654-5101

Pengembangan Sistem Berbasis Ontologi dan Mesin Rekomendasi untuk Dokumentasi Peninggalan Kolonial Bali

I Gede Widiantara Mega Saputra[a1], Gst. Ayu Vida Mastrika Giri[a2], Cokorda Rai Adi Pramartha[a3], I Made Widhi Wirawan[a4]

[a]Program Studi Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia
[1]saputra.2208561022@student.unud.ac.id
[2]vida@unud.ac.id
[3]cokorda@unud.ac.id
[4]made_widhi@unud.ac.id

Abstract

Peninggalan sejarah masa kolonial di Bali rentan terhadap kerusakan fisik dan terhambat proses penetapan status cagar budaya yang panjang, sementara dokumentasi konvensional belum menjamin aksesibilitas publik maupun keterkaitan semantik antarobjek. Penelitian ini mengembangkan Bali Archief, sistem manajemen pengetahuan berbasis ontologi yang berkontribusi pada pelestarian peninggalan kolonial di Bali melalui dokumentasi terstruktur dan akses publik yang tidak bergantung pada penetapan hukum formal. Ontologi dibangun menggunakan *Protégé* dengan kerangka kerja *Methontology*, mencakup 29 kelas, 13 *object property*, 12 *data property*, dan 96 individu peninggalan dari periode Kolonial Belanda dan Pendudukan Jepang. Sistem dikembangkan menggunakan *Flask* dengan mesin rekomendasi yang menggabungkan *Wu-Palmer Similarity* dan *Jaccard Similarity* berbobot pada enam dimensi properti ontologi. Evaluasi ontologi berbasis kueri SPARQL terhadap 20 *Competency Questions* menghasilkan *pass rate* 95 persen. Evaluasi mesin rekomendasi menggunakan Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG@5) terhadap 95 *query* menghasilkan *Mean* NDCG@5 sebesar 0,9411. Evaluasi penerimaan pengguna melalui Technology Acceptance Model (TAM) menghasilkan *Perceived Usefulness* 5,76 dan *Perceived Ease of Use* 6,14. Hasil ini membuktikan ontologi merepresentasikan pengetahuan domain secara semantik dan diterima baik oleh pengguna sebagai instrumen dokumentasi pelestarian.

Keywords: *Pelestarian Cagar Budaya, Ontologi, Peninggalan Kolonial, Bali, OWL*

1. Pendahuluan

Pulau Bali, sebagaimana wilayah lain di Nusantara, pernah berada di bawah kekuasaan asing dalam periode yang dikenal sebagai masa kolonial [1]. Berbagai objek yang dibangun pada masa itu, baik oleh pemerintah pendudukan maupun masyarakat sekitar, kini telah menjadi warisan budaya dengan nilai historis yang signifikan, mencakup bangunan, struktur, situs, dan kawasan yang turut membentuk identitas budaya Bali.

Peninggalan kolonial rentan terhadap tindakan destruktif seperti alih fungsi dan perobohan [2]. Faktor alam seperti pelapukan dan bencana turut mempercepat degradasi fisiknya [3]. Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya mengatur tahapan penetapan status cagar budaya yang wajib dilestarikan [4], tetapi proses tersebut memerlukan waktu dan biaya besar sehingga banyak peninggalan belum terdokumentasi secara memadai [2]. Ancaman fisik yang terus berlangsung dan proses administratif yang belum tuntas secara bersamaan menciptakan risiko hilangnya identitas peninggalan kolonial.

Dokumentasi konvensional belum mampu menjawab kedua tantangan ini karena sifatnya yang tersebar dan tidak menjamin aksesibilitas publik [5]. Pendekatan ini juga mengunci makna data dalam skema tabular yang kaku, sehingga keterkaitan semantik antarobjek peninggalan tidak dapat diproses mesin secara otomatis. Ontologi mengatasi keterbatasan ini karena representasi pengetahuannya ditulis langsung sebagai bagian dari data, sehingga mesin dapat memproses hubungan antarobjek tanpa instruksi tambahan. Pendekatan ini menjadikan dokumentasi sebagai instrumen pelestarian non-fisik yang dapat berjalan terlepas dari selesainya proses penetapan hukum formal.

Revianur [6] membangun *platform* digitalisasi cagar budaya yang dapat diakses publik, tetapi tanpa lapisan representasi pengetahuan formal sehingga mesin tidak dapat memproses keterkaitan semantik antarobjek yang didokumentasikan. Pramartha *et al*. [7] menunjukkan kelayakan ontologi OWL untuk warisan budaya Bali melalui pemodelan formal, tetapi hierarki kelasnya dirancang khusus untuk artefak kulkul sehingga perluasan ke domain peninggalan kolonial memerlukan rekonstruksi struktur kelas secara menyeluruh. Azmi *et al.* [8] membuktikan OWLready2 dan Python dapat menjalankan sistem rekomendasi berbasis ontologi, tetapi inferensinya berhenti pada penetapan kelas kategoris dan tidak menghasilkan skor kemiripan bertingkat antarindividu. Saia *et al*. [9] membuktikan *Wu-Palmer Similarity* efektif untuk perangkingan rekomendasi, namun dilakukan pada *WordNet* yang merupakan tesaurus leksikal umum yang tidak memiliki hierarki kelas khusus suatu domain. Kakad and Dhage [10] memakai *Jaccard Similarity* pada teks tidak terstruktur yang harus melalui pra-pemrosesan linguistik terlebih dahulu, bukan langsung pada properti himpunan yang sudah terdefinisi formal seperti pada ontologi. Pamungkas dkk. [11] telah menggabungkan *Wu-Palmer* dan *Jaccard* dalam satu fungsi berbobot, tetapi *Wu-Palmer* bertugas mengukur kemiripan leksikal antarlabel aktivitas proses bisnis dan bukan hierarki kelas formal pada ontologi domain warisan budaya. Keenam acuan ini menunjukkan bahwa belum ada sistem yang mengintegrasikan ontologi domain peninggalan kolonial dengan fungsi similaritas gabungan tersebut secara langsung pada hierarki kelas dan properti ontologinya sendiri.

Kebaruan penelitian ini terletak pada kalibrasi bobot enam dimensi properti berdasarkan hierarki kepentingan semantik spesifik domain peninggalan kolonial. Skema pembobotan ini diterapkan langsung pada hierarki kelas dan properti terstruktur ontologi domain peninggalan kolonial, berbeda dari penerapan Pamungkas dkk. [11] pada label aktivitas proses bisnis yang tidak memiliki struktur ontologis formal.

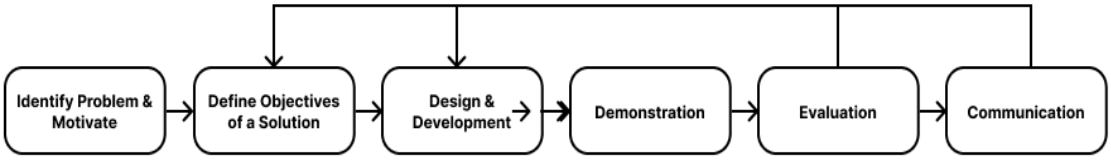
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengembangkan Bali Archief, sebuah sistem manajemen pengetahuan berbasis ontologi yang berkontribusi pada pelestarian peninggalan kolonial di Provinsi Bali melalui dokumentasi semantik dan akses publik. Kontribusi pelestarian pada penelitian ini dibatasi pada aspek dokumentasi, identifikasi kelengkapan data, dan rekomendasi objek terkait, bukan pada intervensi konservasi fisik langsung terhadap objek peninggalan. Ontologi OWL dibangun menggunakan Protégé sebagai representasi pengetahuan domain, sementara *Wu-Palmer Similarity* dan *Jaccard Similarity* diimplementasikan secara berbobot pada enam dimensi properti ontologi. Penelitian ini bertujuan mengukur *pass rate* ontologi berdasarkan evaluasi SPARQL terhadap 20 *Competency Questions* serta mengukur NDCG@5 dari mesin rekomendasi yang dikembangkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Design Science Research Methodology (DSRM) sebagai kerangka kerja utama karena kesesuaiannya untuk penelitian yang berfokus pada pengembangan artefak dengan nilai praktis [12]. Kerangka kerja ini menekankan penciptaan pengetahuan baru melalui perancangan dan evaluasi artefak sebagai solusi atas permasalahan nyata yang dihadapi praktisi, dengan tiga tujuan utama, yaitu menyediakan proses nominal bagi pelaksanaan penelitian design science, membangun di atas literatur *design science* dalam bidang sistem informasi, dan menyediakan *template* bagi peneliti untuk menstrukturkan luaran penelitiannya [12]. DSRM mencakup enam tahapan yang bersifat iteratif, yaitu diawali oleh tahap *Identify Problem and Motivate*, dilanjutkan dengan tahap *Define Objectives of a Solution*, *Design and Development*, *Demonstration*, *Evaluation*, dan kemudian diakhiri oleh tahap *Communication*. Keenam tahapan tersebut dapat berjalan secara tidak linear, sehingga peneliti dimungkinkan kembali ke tahap sebelumnya berdasarkan hasil evaluasi pada tahap yang sedang berjalan.

p-ISSN: 2301-5373
e-ISSN: 2654-5101

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian *Design Science Research Methodology* yang diterapkan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Alur Penelitian DSRM

Pada tahap pertama, permasalahan yang diidentifikasi adalah keterbatasan dokumentasi peninggalan kolonial Bali yang terstruktur, dapat diakses publik, dan mendukung upaya pelestarian. Tahap kedua menetapkan solusi berupa sistem manajemen pengetahuan berbasis ontologi yang dilengkapi mesin rekomendasi semantik. Tahap ketiga, *Design and Development*, mencakup pengumpulan data dari Balai Pelestarian Kebudayaan Wilayah Bali, pembangunan ontologi menggunakan *Methontology*, pengembangan sistem Bali Archief berbasis *Flask*, serta penyusunan mesin rekomendasi yang menggabungkan *Wu-Palmer Similarity* dan *Jaccard Similarity*. Tahap keempat, *Demonstration*, menguji coba sistem pada studi kasus ilustratif untuk membuktikan bahwa pencarian dan rekomendasi peninggalan berfungsi sebagaimana mestinya. Tahap kelima, *Evaluation*, mengukur kinerja ontologi melalui kueri SPARQL, kinerja mesin rekomendasi melalui NDCG@5, dan penerimaan pengguna melalui Technology Acceptance Model (TAM). Tahap keenam, *Communication*, mendiseminasikan hasil penelitian melalui ujian tugas akhir dan publikasi artikel ilmiah ini.

2.1. Pembangunan Ontologi dengan Methontology

Pembangunan ontologi dilakukan menggunakan *Methontology*, yaitu metodologi yang memberikan panduan terstruktur untuk setiap tahap pengembangan ontologi dan memungkinkan hasil ontologi digunakan kembali [13]. Tujuh aktivitas *Methontology* yang diterapkan adalah *Specification*, *Knowledge Acquisition*, *Conceptualization*, *Integration*, *Implementation*, *Evaluation*, dan *Documentation*. Tahap spesifikasi menghasilkan *Ontology Requirements Specification Document* yang memuat 20 *Competency Questions* (CQs) terbagi dalam tiga kelompok, yaitu identifikasi dan deskripsi peninggalan (8 CQs), relasi dan klasifikasi antar peninggalan (7 CQs), serta analisis kuantitatif dan kelengkapan data (5 CQs). Kelompok kelengkapan data dirancang agar ontologi dapat mendeteksi peninggalan dengan informasi yang belum lengkap, sehingga hasilnya dapat menjadi salah satu acuan prioritas pendataan lanjutan oleh instansi pelestarian. Akuisisi pengetahuan dilakukan melalui *dataset* sekunder dari Balai Pelestarian Kebudayaan Bali yang dilengkapi wawancara semi-terstruktur dengan staf pengelola data. Konseptualisasi menghasilkan Glosarium Istilah dan *Concept Dictionary* yang memuat 29 kelas beserta pemetaannya ke entitas OWL 2. Implementasi dilaksanakan di perangkat lunak Protégé dengan serialisasi format RDF/XML.

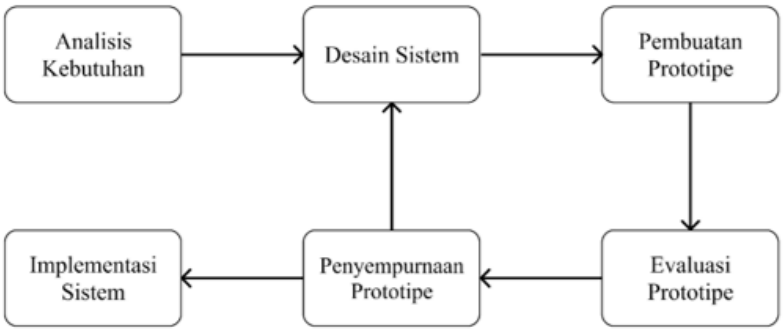
2.2. Pengumpulan dan Reduksi Data

Data utama yang digunakan adalah *dataset* peninggalan sejarah masa kolonial di Bali dari Balai Pelestarian Kebudayaan Wilayah Bali yang pada awalnya berjumlah 193 peninggalan. *Dataset* awal mengandung atribut yang tidak relevan dengan domain ontologi, sehingga dilakukan reduksi berdasarkan kriteria relevansi semantik hingga tersisa 96 objek yang relevan. Atribut yang dipertahankan mencakup nama peninggalan, kategori fisik, periode kolonial, kondisi fisik, lokasi administratif, koordinat geografis, bahan konstruksi, fungsi historis, fungsi masa kini, pihak pembangun, dan pihak pengelola. Data yang tidak tersedia dalam *dataset* primer dilengkapi melalui studi literatur dari buku, jurnal ilmiah, dan portal berita resmi.

2.3. Pengembangan Sistem

Sistem Bali Archief dikembangkan menggunakan metode *Prototyping* karena kesesuaiannya untuk pengembangan perangkat lunak yang melibatkan interaksi langsung dengan pengguna pada tahap awal desain. Metode ini terdiri atas empat tahapan iteratif, yaitu pengumpulan kebutuhan, perancangan cepat, pembangunan prototipe, dan evaluasi oleh pengguna sebelum

produk akhir dikembangkan. Gambar 2 menunjukkan alur metode Prototyping yang diterapkan dalam pengembangan sistem ini.



Gambar 2. Alur Metode Prototyping

Backend sistem dibangun menggunakan *framework Flask* berbasis Python dengan arsitektur dua fase, yaitu inisialisasi statis saat *startup* dan eksekusi dinamis saat *runtime*. Pada fase inisialisasi, berkas ontologi BaliColonialEraHeritage.rdf dimuat menggunakan *library* owlready2 melalui objek owl2.World(), seluruh individu beserta relasi propertinya diakses melalui API owlready2, dan hierarki kelas dibangun menggunakan algoritma *Breadth-First Search* untuk mendukung komputasi *Wu-Palmer Similarity*. Setiap properti ontologi kemudian disimpan dalam *cache dictionary* Python untuk akses cepat tanpa perlu dilakukan eksekusi *reasoner* berulang, sehingga sistem dapat merespons permintaan rekomendasi secara efisien. *Frontend* dibangun menggunakan Tailwind CSS, Leaflet.js untuk visualisasi peta sebaran peninggalan, serta SweetAlert2 untuk notifikasi antarmuka.

2.4. Mesin Rekomendasi

Mesin rekomendasi mengukur kemiripan antar peninggalan berdasarkan enam dimensi properti ontologi yang masing-masing dihitung menggunakan *Wu-Palmer Similarity* atau *Jaccard Similarity*. *Wu-Palmer Similarity* mengukur kemiripan dua konsep berdasarkan kedalaman posisinya dalam hierarki ontologi dan *Least Common Subsumer*, sesuai rumus *Wu and Palmer* [14].

$$sim_{wp}(c1, c2) = \frac{2 \times depth(LCS(c1,c2))}{depth(c1)+depth(c2)} \quad (1)$$

Jaccard Similarity mengukur kemiripan dua himpunan nilai properti sebagai rasio irisan terhadap gabungan [10].

$$sim_J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (2)$$

Skor similaritas akhir dihitung sebagai kombinasi berbobot dari keenam dimensi tersebut. Tabel 1 menyajikan rincian setiap dimensi beserta metode dan bobotnya.

Tabel 1. Dimensi *Similarity*, *Object Property*, Metode, dan Bobot

Dimensi	*Object Property*	Metode	Bobot
Kategori	merupakanKategori	Wu-Palmer	0,20
Fungsi Lampau	memilikiFungsiLampau	Wu-Palmer	0,45
Periode	terkaitPeriodeKolonial	Wu-Palmer	0,15
Kondisi	memilikiKondisi	Wu-Palmer	0,10
Bahan	menggunakanBahan	Jaccard	0,05
Lokasi	berlokasiDi	Jaccard	0,05

Ketiadaan data penilaian berpasangan yang memadai membuat bobot pada Tabel 1 tidak dapat diturunkan melalui optimasi atau iterasi matematis selayaknya metode Pamungkas dkk. [11]. Alternatifnya, keenam bobot disusun langsung dari hierarki kepentingan teoritis setiap atribut terhadap identitas peninggalan kolonial. Fungsi historis mendapat bobot tertinggi (0,45) karena atribut ini paling membedakan identitas satu peninggalan dari peninggalan lain, sejalan dengan

p-ISSN: 2301-5373
e-ISSN: 2654-5101

Grieser *et al*. [15] yang mengestimasi keterkaitan antarartefak museum melalui kemiripan ontologis pada dimensi fungsi dan kategori. Angka 0,45 dipilih agar lebih besar daripada jumlah dua bobot non-fungsi mana pun, sehingga fungsi tetap dominan dalam peringkat kemiripan tanpa membuat kontribusi kelima dimensi lain menjadi nol.

Bobot berikutnya menurun mengikuti kedekatan setiap atribut dengan identitas inti peninggalan. Kategori (0,20) membedakan tipologi struktural antara bangunan, situs, struktur, dan kawasan pada skala paling dasar, sedangkan Periode (0,15) membedakan konteks historis di antara peninggalan yang sudah berbagi fungsi dan kategori yang sama. Kondisi (0,10), Bahan, dan Lokasi (0,05 masing-masing) berperan sebagai atribut pelengkap yang tidak memengaruhi identitas semantik peninggalan secara langsung, karena dua peninggalan tetap sebanding secara semantik berdasarkan kesamaan fungsi dan kategori meskipun kondisi fisik, material, maupun lokasinya berbeda.

Hierarki bobot ini didukung secara aposteriori oleh hasil evaluasi NDCG@5 pada Bagian 3.4, dengan *Mean* NDCG@5 sebesar 0,9411 dari 95 query yang menunjukkan bahwa urutan rekomendasi yang dihasilkan konsisten dengan urutan ideal menurut skema *ground truth*. Skema tersebut menerjemahkan hierarki kepentingan teoritis yang sama ke mekanisme penilaian yang berbeda, yaitu gate kategorikal pada Kategori dan Periode yang diikuti skor aditif pada Fungsi Lampau, Bahan, Kondisi, dan Lokasi, sehingga bukan kombinasi berbobot kontinu seperti pada mesin rekomendasi. Hal ini karena kedua mekanisme berasal dari dasar teoritis yang sama, yaitu kesesuaian tinggi di antara keduanya menunjukkan konsistensi penerapan hierarki tersebut pada dua representasi berbeda.

Setiap *query* peninggalan menghasilkan skor similaritas agregat terhadap seluruh kandidat, kemudian sistem mengembalikan lima peninggalan dengan skor tertinggi sebagai *Top*-5 rekomendasi. Mekanisme ini memungkinkan pengguna menemukan peninggalan lain yang berkaitan secara historis maupun spasial, sehingga memperluas paparan publik terhadap objek peninggalan yang mungkin kurang dikenal.

2.5. Evaluasi

Evaluasi ontologi dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama menggunakan HermiT Reasoner untuk memverifikasi konsistensi logis ontologi. Tahap kedua menggunakan kueri SPARQL pada Protégé untuk menguji 20 kueri yang berkorespondensi dengan 20 *Competency Questions* secara biner, yaitu Berhasil atau Tidak Berhasil dengan tingkat keberhasilan dinyatakan sebagai *pass rate* [16]. Mesin rekomendasi dievaluasi menggunakan *Normalized Discounted Cumulative Gain* pada K=5 (NDCG@5) terhadap 95 *query*, sesuai rumus *Järvelin and Kekäläinen* [17].

$$NDCG@K = \frac{DCG@K}{IDCG@K} \quad (3)$$

Ground truth relevansi dibangun menggunakan sistem *gate* bertingkat berdasarkan properti ontologi, menghasilkan skor relevansi 0 hingga 5 untuk setiap pasangan *query* dan kandidat. Evaluasi penerimaan pengguna dilaksanakan melalui instrumen *Technology Acceptance Model* yang diadaptasi dari Davis [18] dengan 12 butir pernyataan berskala Likert tujuh tingkat, disebarkan kepada 30 responden.

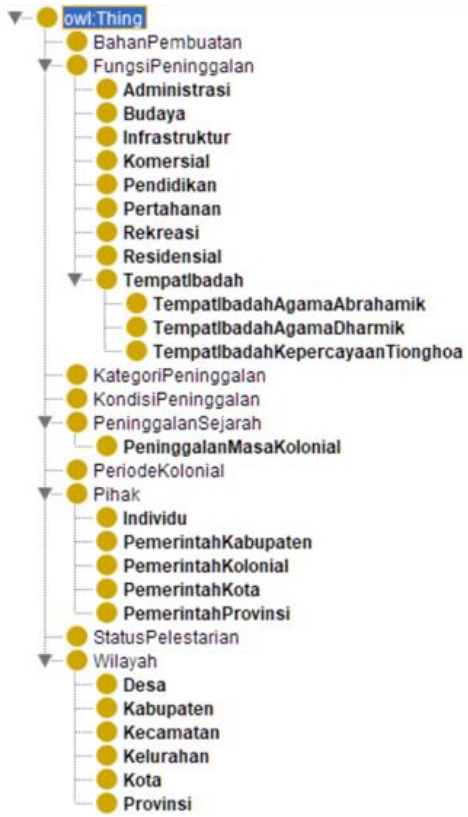
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pembangunan Ontologi

Ontologi peninggalan sejarah masa kolonial di Bali berhasil dibangun di Protégé dengan struktur taksonomi yang berakar pada owl:Thing. Hierarki kelas terdiri dari sembilan superclass utama, yaitu BahanPembuatan, FungsiPeninggalan, KategoriPeninggalan, KondisiPeninggalan, PeninggalanSejarah, PeriodeKolonial, Pihak, StatusPelestarian, dan Wilayah, yang kemudian diturunkan menjadi 29 kelas total.

Kelas KategoriPeninggalan mengelompokkan objek berdasarkan klasifikasi fisiknya, seperti bangunan, struktur, atau situs, sedangkan kelas BahanPembuatan merepresentasikan material konstruksi seperti batu dan bata, dan kelas KondisiPeninggalan mendeskripsikan keadaan fisik terkini suatu objek, misalnya berstatus utuh atau musnah. Kelas FungsiPeninggalan menjelaskan peruntukan fungsional suatu peninggalan, baik pada masa lampau maupun saat ini, sementara kelas PeriodeKolonial merepresentasikan pembagian waktu sejarah berdasarkan masa

pendudukan bangsa asing di Bali. Kelas Wilayah mendefinisikan lokasi serta cakupan wilayah administratif geografis tempat peninggalan berada. Kelas PeninggalanSejarah berperan sebagai superkelas utama yang menaungi seluruh entitas peninggalan bersejarah dalam ontologi, sedangkan kelas Pihak merepresentasikan aktor, baik individu maupun kelompok, yang terlibat dalam sejarah maupun pengelolaan suatu peninggalan. Kelas StatusPelestarian secara langsung merepresentasikan tingkat perawatan fisik dan upaya perlindungan hukum setiap objek, sehingga ontologi tidak hanya mendokumentasikan identitas fisik peninggalan tetapi juga posisinya dalam proses pelestarian formal. Gambar 3 menampilkan hierarki kelas lengkap dari ontologi yang dibangun.



Gambar 3. Hierarki Kelas Ontologi Peninggalan Sejarah Masa Kolonial di Bali

Ontologi memuat 13 *object property* yang mendefinisikan relasi semantik antar individu, di antaranya terkaitPeriodeKolonial, merupakanKategori, berlokasiDi, dibangunOleh, menggunakanBahan, memilikiFungsiLampau, memilikiFungsiKini, memilikiKondisi, dan memilikiStatusPelestarian. Sebanyak 12 *data property* menyimpan nilai literal seperti koordinatLintang, koordinatBujur, memilikiAlamat, tahunPembangunan, dan memilikiElevasi. Individu PeninggalanMasaKolonial berjumlah 96 objek yang mencakup peninggalan dari periode Kolonial Belanda dan Pendudukan Jepang. Secara keseluruhan, ontologi ditopang oleh 1.839 aksioma, yang terbagi menjadi 1.572 aksioma logis dan 267 aksioma deklarasi.

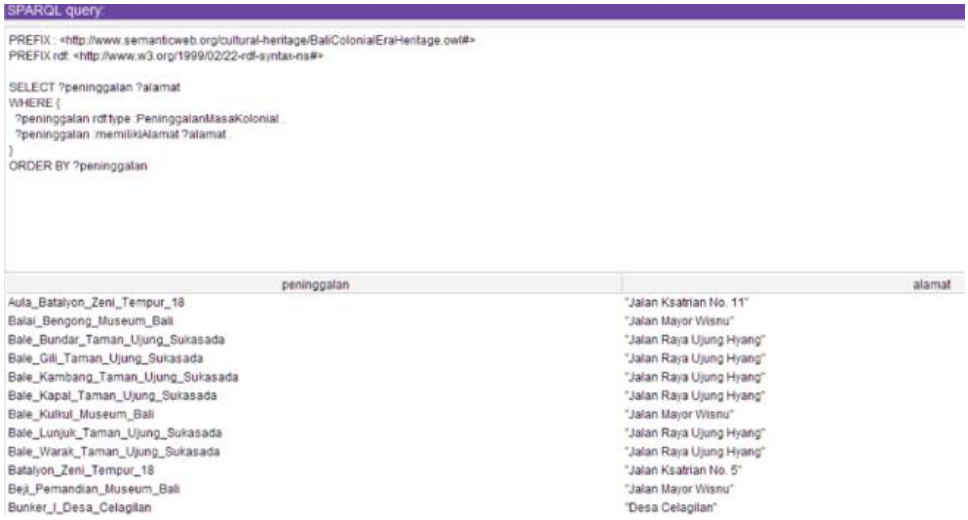
3.2. Hasil Evaluasi Ontologi

Evaluasi konsistensi logis menggunakan HermiT Reasoner menghasilkan konfirmasi bahwa seluruh aksioma ontologi valid tanpa inkonsistensi, kelas yang tidak dapat dipenuhi, maupun pelanggaran aksioma. Proses inferensi selesai dalam 167 milidetik. Hasil ini membuktikan bahwa hierarki kelas, *object property*, *data property*, serta seluruh *assertion* yang didefinisikan konsisten secara logis sesuai standar OWL 2.

Evaluasi kemampuan *query* semantik menggunakan SPARQL menguji 20 kueri yang berkorespondensi dengan 20 *Competency Questions*. Sebanyak 19 dari 20 kueri dinyatakan Berhasil, sedangkan satu kueri (CQ10 yang menguji properti memilikiFungsi) dinyatakan Tidak Berhasil karena individu hanya memiliki *assertion* pada *sub-property* memilikiFungsiLampau dan

p-ISSN: 2301-5373
e-ISSN: 2654-5101

memilikiFungsiKini. Berdasarkan formula *pass rate*, nilai pengujian fungsional ontologi ini adalah 95 persen. Gambar 4 menampilkan contoh kueri SPARQL beserta hasilnya pada perangkat lunak Protégé.

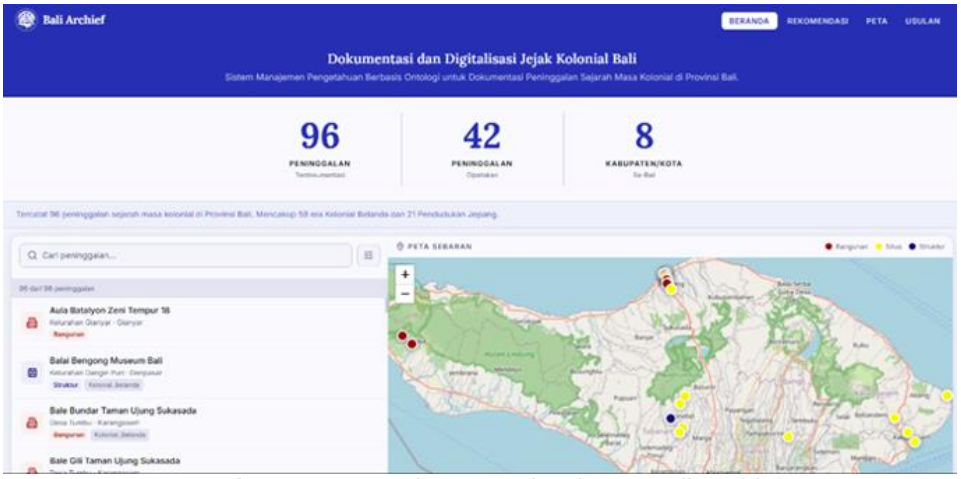


Gambar 4. Contoh *Query* SPARQL dan Hasil Pengujian pada Protégé

Nilai *pass rate* 95 persen menunjukkan bahwa ontologi mampu mendukung berbagai kemampuan *query*, mulai dari pengambilan data dasar, pemfilteran berbasis *object property*, traversal hierarki wilayah administratif, agregasi kuantitatif, hingga deteksi ketidaklengkapan data menggunakan pola *FILTER NOT EXISTS*. Satu kegagalan pada CQ10 terjadi bukan karena kesalahan desain ontologi, melainkan karena pola *query* yang mencari assertion pada *super-property* tidak secara otomatis diwarisi dari *sub-property* dalam standar SPARQL 1.1 tanpa *reasoner* aktif.

3.3. Hasil Pengembangan Sistem

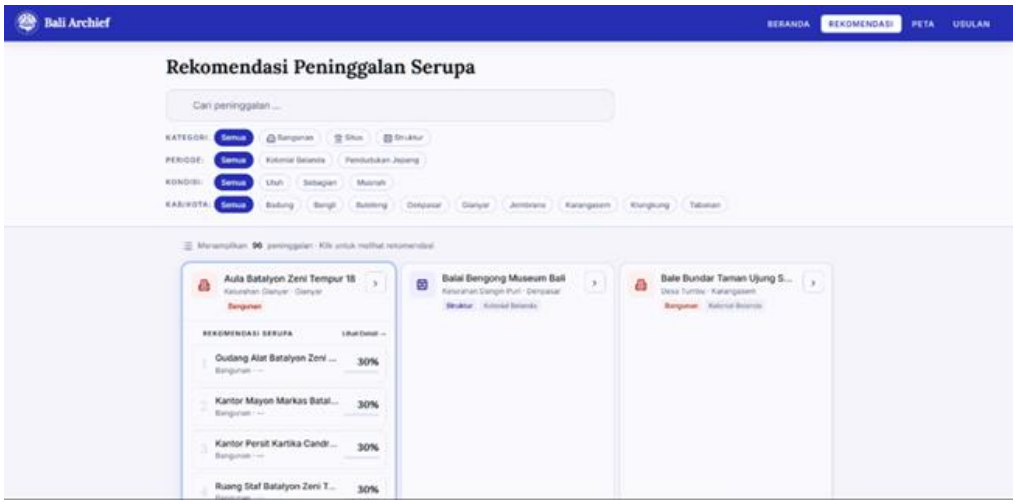
Sistem Bali Archief berhasil dibangun sebagai aplikasi web yang dapat diakses publik dengan fitur utama berupa katalog peninggalan, peta interaktif, mesin rekomendasi *Top-5*, formulir usulan peninggalan oleh pengguna, dan panel administrasi untuk pengelolaan ontologi. Aksesibilitas publik ini secara langsung menjawab keterbatasan dokumentasi konvensional yang telah diuraikan sebelumnya karena masyarakat dapat menelusuri informasi peninggalan kolonial tanpa bergantung pada selesainya proses penetapan cagar budaya secara formal. Gambar 5 menampilkan antarmuka beranda sistem.



Gambar 5. Antarmuka Beranda Sistem Bali Archief

Hasil uji coba menunjukkan bahwa arsitektur inisialisasi statis yang memuat ontologi dan membangun *cache* Python sejak *startup* berjalan sesuai rancangan, karena permintaan pada

endpoint /api/rekomendasi dilayani langsung dari *cache* tanpa perlu memuat ulang berkas ontologi maupun menjalankan *reasoner*. Saat pengguna mengklik salah satu *card* peninggalan pada menu ini, panel di bawahnya langsung menampilkan lima rekomendasi teratas beserta nilai kemiripannya tanpa *delay*. Gambar 6 menampilkan antarmuka menu rekomendasi sistem.



Gambar 6. Antarmuka Menu Rekomendasi Sistem Bali Archief

3.4. Hasil Evaluasi Mesin Rekomendasi

Evaluasi mesin rekomendasi menggunakan NDCG@5 dilakukan terhadap 95 *query* yang mewakili seluruh individu PeninggalanMasaKolonial dalam ontologi. Tabel 2 menyajikan hasil agregat evaluasi NDCG@5.

Tabel 2. Hasil Agregat Evaluasi NDCG@5 Mesin Rekomendasi

Metrik	Nilai	Persentase
Mean NDCG@5	0,9411	94,1%
Min NDCG@5	0,4748	47,5%
Max NDCG@5	1,0000	100,0%

Nilai *Mean* NDCG@5 sebesar 0,9411 (94,1%) menunjukkan bahwa sistem secara konsisten menghasilkan urutan rekomendasi yang sangat dekat dengan urutan ideal, dan secara langsung mengonfirmasi efektivitas kombinasi berbobot *Wu-Palmer Similarity* dan *Jaccard Similarity* yang diterapkan pada hierarki kelas dan properti ontologi. Tabel 3 menyajikan distribusi skor NDCG@5 dari seluruh *query* yang dievaluasi.

Tabel 3. Distribusi Skor NDCG@5 dari 95 *Query*

Rentang NDCG@5	Jumlah *Query*	Persentase dari 95 *Query*
1,0000	62	65,3%
0,9000 s.d. < 1,0000	16	16,8%
0,8000 s.d. < 0,9000	7	7,4%
0,7000 s.d. < 0,8000	3	3,2%
< 0,7000	7	7,4%

Sebanyak 62 dari 95 *query* (65,3%) mencapai NDCG@5 sempurna 1,0000, yang berarti urutan lima rekomendasi teratas persis identik dengan urutan relevansi ideal menurut *ground truth* ontologi. Objek-objek yang berada dalam satu kompleks kawasan, seperti komponen Taman Ujung Sukasada, secara konsisten mencapai skor sempurna karena properti ontologinya saling berkorelasi tinggi. Tujuh *query* (7,4%) menghasilkan NDCG@5 di bawah 0,70, dengan penyebab utama berupa distribusi kandidat yang didominasi *grade* rendah sehingga skor similaritas agregat tidak cukup tajam untuk mendorong kandidat *grade* tinggi ke posisi teratas. Nilai minimum 0,4748 tetap di atas 0,0, yang berarti tidak ada satu pun *query* yang menghasilkan lima rekomendasi teratas berisi objek yang sepenuhnya tidak relevan. Hasil ini menunjukkan bahwa mesin

p-ISSN: 2301-5373
e-ISSN: 2654-5101

rekomendasi dapat diandalkan untuk mengarahkan perhatian publik pada peninggalan terkait yang berpotensi kurang dikenal, sehingga memperluas jangkauan dokumentasi pelestarian tanpa menggantikan proses verifikasi pelestarian oleh instansi berwenang.

3.5. Hasil Evaluasi Technology Acceptance Model

Evaluasi penerimaan pengguna menggunakan instrumen TAM dengan 30 responden menunjukkan bahwa seluruh 12 butir pernyataan valid (nilai *r* hitung berkisar antara 0,589 hingga 0,898, di atas *r* tabel 0,361) dan instrumen reliabel dengan nilai *Cronbach's Alpha* sebesar 0,942, jauh melampaui ambang batas minimum 0,70. Tabel 4 menyajikan hasil analisis nilai rata-rata kedua konstruk TAM.

Tabel 4. Hasil Analisis Konstruk TAM

Konstruk	Kode	Mean	Interpretasi
Perceived Usefulness (PU)	PU1–PU6	5,76	Setuju
Perceived Ease of Use (PEU)	PEU1–PEU6	6,14	Sangat Setuju
Rata-rata Total TAM	-	5,95	Setuju

Konstruk *Perceived Usefulness* memperoleh rata-rata 5,76, berada pada kategori Setuju dalam skala tujuh tingkat. Konstruk *Perceived Ease of Use* memperoleh rata-rata 6,14, yaitu berada dalam kategori kategori Sangat Setuju, dengan tiga butir (PEU3, PEU4, PEU6) melampaui skor 6,15. Rata-rata total TAM dari kedua konstruk adalah 5,95 yang berada pada kategori Setuju. Nilai PEU yang lebih tinggi dari PU mengindikasikan bahwa responden lebih mudah merasakan kemudahan penggunaan antarmuka secara langsung dibandingkan kegunaan jangka panjang yang memerlukan konteks kerja spesifik. Hasil ini menjadi bukti empiris bahwa sistem Bali Archief diterima pengguna baik dari sisi kegunaan maupun kemudahan penggunaan, sebuah indikasi yang relevan bagi keberlanjutan sistem sebagai instrumen dokumentasi pelestarian jangka panjang.

4. Kesimpulan

Ontologi peninggalan sejarah masa kolonial di Bali yang dikembangkan dengan kerangka kerja Methontology mencapai *pass rate* 95 persen berdasarkan evaluasi berbasis kueri SPARQL terhadap 20 *Competency Questions*, dengan 19 kueri dinyatakan Berhasil. Evaluasi konsistensi logis menggunakan HermiT Reasoner sebelumnya membuktikan bahwa ontologi terbebas dari inkonsistensi dan pelanggaran aksioma. Ontologi yang dibangun terbukti mampu merepresentasikan dan mengembalikan pengetahuan domain peninggalan kolonial Bali, termasuk status pelestarian dan kelengkapan datanya, sesuai kebutuhan yang ditetapkan.

Mesin rekomendasi yang menggabungkan *Wu-Palmer Similarity* dan *Jaccard Similarity* pada enam dimensi properti ontologi memperoleh Mean NDCG@5 sebesar 0,9411 dari evaluasi terhadap 95 *query*, dengan 62 dari 95 *query* (65,3%) mencapai skor sempurna 1,0000. Evaluasi penerimaan pengguna melalui TAM menghasilkan rata-rata *Perceived Usefulness* 5,76 (Setuju) dan *Perceived Ease of Use* 6,14 (Sangat Setuju), yang membuktikan bahwa sistem diterima pengguna dari sisi kegunaan maupun kemudahan. Secara keseluruhan, Bali Archief berkontribusi pada pelestarian peninggalan kolonial Bali melalui dokumentasi semantik yang terstruktur dan dapat diakses publik. Kontribusi ini tetap terbatas pada aspek dokumentasi, identifikasi kelengkapan data, dan rekomendasi objek terkait, sehingga belum menggantikan proses verifikasi dan intervensi konservasi fisik yang menjadi wewenang instansi pelestarian seperti Balai Pelestarian Kebudayaan Bali.

References

[1] M. Ilham dan R. Zami, “Tawan karang dalam perpolitikan kolonial Belanda dengan raja-raja Bali berdasarkan surat-surat kontrak abad ke-19,” Sejarah dan Budaya, vol. 13, no. 2, hlm. 217-227, 2019.
[2] M. Tobing, “Bangunan bersejarah peninggalan kolonial, riwayatmu kini terabaikan,” lampung.idntimes.com, 2020.
[3] Posmerdeka, “Bendungan peninggalan Belanda rusak ditimpa pohon,” posmerdeka.com, 2020.

[4] R. Yuni, “Pengertian cagar budaya berdasarkan Undang-Undang Cagar Budaya,” kebudayaan.kemdikbud.go.id, 2020.
[5] A. Ababna, “Digital solutions for cultural heritage: preservation, interpretation, and engagement in line with the Venice charter principles,” dalam Proc. 3rd Int. Conf. Visual Pattern Extraction and Recognition for Cultural Heritage Understanding, 2024.
[6] A. Revianur, “Digitalisasi cagar budaya di Indonesia: sudut pandang baru pelestarian cagar budaya masa Hindu-Buddha di Kabupaten Semarang,” Bakti Budaya, vol. 3, no. 1, hlm. 90-101, 2020.
[7] C. Pramartha, J. Davis, dan K. K. Y. Kuan, “Digital preservation of cultural heritage: an ontology-based approach,” dalam Proc. ACIS 2017, 2017.
[8] N. Azmi, D. Richasdy, dan Hasmawati, “Recommendation system in the form of an ontology-based chatbot for healthy food recommendations for teenagers,” Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, vol. 9, no. 7, hlm. 5085-5091, 2023.
[9] R. Saia, L. Boratto, dan S. Carta, “A semantic approach to remove incoherent items from a user profile and improve the accuracy of a recommender system,” Journal of Intelligent Information Systems, vol. 47, hlm. 111-134, 2016.
[10] S. Kakad dan S. Dhage, “Cross domain-based ontology construction via Jaccard semantic similarity with hybrid optimization model,” Expert Systems with Applications, vol. 178, hlm. 115046, 2021.
[11] S. M. Pamungkas, I. Aqimuddin, C. A. Gunawan, M. A. Yaqin, dan A. Fauzan, “Analisis kemiripan model proses bisnis PMBoK dan Scrum menggunakan metode Jaccard coefficient similarity dan semantic similarity,” ILKOMNIKA, 2023.
[12] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, dan S. Chatterjee, “A design science research methodology for information systems research,” Journal of Management Information Systems, vol. 24, no. 3, hlm. 45-77, 2007.
[13] M. Fernández, A. Gómez-Pérez, dan N. Juristo, “METHONTOLOGY: from ontological art towards ontological engineering,” AAAI Technical Report, hlm. 33-40, 1997.
[14] Z. Wu dan M. Palmer, “Verb semantics and lexical selection,” dalam Proc. 32nd Annual Meeting of the ACL, hlm. 133-138, 1994.
[15] K. Grieser, T. Baldwin, F. Bohnert, dan L. Sonenberg, “Using ontological and document similarity to estimate museum exhibit relatedness,” ACM Journal on Computing and Cultural Heritage, vol. 3, no. 3, hlm. 1-20, 2011.
[16] J. Potoniec, D. Wiśniewski, A. Ławrynowicz, dan C. M. Keet, “Dataset of ontology competency questions to SPARQL-OWL queries translations,” Data in Brief, vol. 29, hlm. 105098, 2020.
[17] K. Järvelin dan J. Kekäläinen, “Cumulated gain-based evaluation of IR techniques,” ACM Transactions on Information Systems, vol. 20, no. 4, hlm. 422-446, 2002.
[18] F. D. Davis, “Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology,” MIS Quarterly, vol. 13, no. 3, hlm. 319-340, 1989.