

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| Judul | 1 |
| Lembar Pengesahan | ii |
| Halaman Pernyataan | ii |
| Kata Pengantar | iii |
| Abstrak | iv |
| Abstract | v |
| Daftar Isi | vi |
| Daftar Gambar | x |
| Daftar Tabel | xi |
| 1 BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5 Batasan Penelitian | 3 |
| 2 BAB II KAJIAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Penelitian Terdahulu | 5 |
| 2.2 Diferensiasi Penelitian | 7 |
| 3 BAB III LANDASAN TEORI | 14 |
| 3.1 Digitalisasi Dokumen Hukum di Indonesia | 14 |
| 3.2 Sistem Penjawab Pertanyaan (Question Answering) | 14 |
| 3.3 Retrieval-Augmented Generation (RAG) | 15 |
| 3.3.1 Fase Retrieval | 15 |
| 3.3.2 Fase Augmentation | 18 |
| 3.3.3 Fase Generation | 20 |
| 3.3.4 Arsitektur Retrieval-Augmented Generation | 22 |
| 3.4 Large Language Model dan Gemini Flash 2.5 | 22 |
| 3.5 Embedding, Indexing, dan Retrieval | 23 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.6 | Evaluasi Sistem QA | 24 |
| 3.7 | Tools dan Teknologi Pendukung | 25 |
| 3.7.1 | Flask sebagai Framework Aplikasi Web | 25 |
| 3.7.2 | OCR dan Gemini File API | 26 |
| 3.7.3 | Ringkasan Stack Teknologi Pendukung | 26 |
| 4 | BAB IV ANALISIS DAN RANCANGAN SISTEM | 28 |
| 4.1 | Deskripsi Umum | 28 |
| 4.2 | Spesifikasi Kebutuhan Sistem | 29 |
| 4.2.1 | Kebutuhan Fungsional | 29 |
| 4.2.2 | Kebutuhan Non-Fungsional | 30 |
| 4.3 | Pengumpulan Dataset | 31 |
| 4.4 | Struktur Hierarkis Dokumen Legal di Indonesia | 33 |
| 4.5 | Diagram Alur Sekuensial Sistem RAG | 34 |
| 4.6 | Arsitektur Microservices | 35 |
| 4.7 | Rancangan Umum Model Sistem RAG Hukum | 37 |
| 4.8 | Indexing | 39 |
| 4.9 | Query Processing | 40 |
| 4.10 | Sparse Retrieval (BM25) | 41 |
| 4.11 | Dense Retrieval | 42 |
| 4.12 | Reranking | 43 |
| 4.13 | Prompt Engineering | 43 |
| 4.14 | Generation | 44 |
| 4.15 | Evaluation | 46 |
| 5 | BAB V IMPLEMENTASI | 49 |
| 5.1 | Alat dan Bahan | 49 |
| 5.1.1 | Perangkat Pengembangan | 49 |
| 5.1.2 | Framework dan Library Python | 49 |
| 5.1.3 | Infrastructure Services | 50 |
| 5.2 | Spesifikasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak | 50 |
| 5.2.1 | Spesifikasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak | 50 |
| 5.2.2 | Resource Allocation per Service | 51 |
| 5.3 | Desain Skema Database | 51 |
| 5.3.1 | Arsitektur Database Multi-Tenant | 51 |
| 5.3.2 | Tabel Inti Sistem | 51 |
| 5.3.3 | Tabel Pendukung dan Relasi | 53 |
| 5.3.4 | Enumerasi dan Type Safety | 55 |
| 5.3.5 | Integritas Referensial dan Constraints | 55 |
| 5.3.6 | Performance Optimizations | 55 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.4 | Desain API Endpoint | 56 |
| 5.4.1 | Authentication Endpoints | 56 |
| 5.4.2 | Document Management Endpoints | 57 |
| 5.4.3 | Query Processing Endpoints | 58 |
| 5.4.4 | Response Format Standardization | 58 |
| 5.5 | Implementasi Sistem | 58 |
| 5.5.1 | Arsitektur Aplikasi | 58 |
| 5.5.2 | Implementasi Document Processing Pipeline | 59 |
| 5.5.3 | Implementasi Hybrid Search Storage | 61 |
| 5.5.4 | Implementasi LLM Service untuk Generation | 63 |
| 5.5.5 | Implementasi Query Processing API | 64 |
| 5.5.6 | Implementasi Authentication dan Authorization | 67 |
| 5.5.7 | Implementasi Document Management | 67 |
| 5.5.8 | Dual-Model Evaluation System | 68 |
| 5.5.9 | Implementasi Deployment dengan Docker | 69 |
| 5.5.10 | Configuration Management | 70 |
| 5.6 | Implementasi Frontend | 71 |
| 5.6.1 | Teknologi dan Framework Frontend | 71 |
| 5.6.2 | Arsitektur Frontend | 71 |
| 5.6.3 | Implementasi Document Management Frontend | 73 |
| 5.6.4 | Implementasi Real-time Document Processing Status | 74 |
| 5.6.5 | Implementasi Query Processing Interface | 76 |
| 5.6.6 | Optimisasi Performa Frontend | 78 |
| 5.6.7 | Responsive Design Implementation | 79 |
| 6 | BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN | 80 |
| 6.1 | Pendahuluan | 80 |
| 6.2 | Metodologi Investigasi Sistem | 80 |
| 6.2.1 | Pendekatan Investigatif Sistematis | 80 |
| 6.2.2 | Alat dan Lingkungan Pengujian | 81 |
| 6.3 | Hasil Investigasi Sistem | 81 |
| 6.3.1 | Validasi Sistem dalam Environment Produksi | 81 |
| 6.3.2 | Analisis Performa Komponen Fungsional | 82 |
| 6.3.3 | Karakteristik Network Latency dan Overhead Produksi | 83 |
| 6.3.4 | Penemuan Dokumen Hukum Indonesia | 84 |
| 6.4 | Evaluasi Kinerja Komprehensif | 84 |
| 6.4.1 | Evaluasi Dataset QA 150 Pairs | 84 |
| 6.4.2 | Evaluasi RAGAS Framework | 85 |
| 6.4.3 | Analisis Performa Berdasarkan Tipe Query | 87 |
| 6.4.4 | Analisis Performa Berdasarkan Tingkat Kesulitan | 87 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.4.5 | Analisis Query Terbaik dan Terburuk | 88 |
| 6.4.6 | Contoh Kasus Uji Representatif | 89 |
| 6.4.7 | Benchmarking Performa terhadap Target Spesifikasi | 92 |
| 6.5 | Pembahasan Hasil | 92 |
| 6.5.1 | Keberhasilan Implementasi Arsitektur RAG | 92 |
| 6.5.2 | Interpretasi Hasil RAGAS dalam Konteks Legal Domain | 93 |
| 6.5.3 | Analisis Diskrepansi Database dan Implikasi Sistem | 94 |
| 6.6 | Antarmuka Pengguna dan Evaluasi UX | 94 |
| 7 | BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN | 96 |
| 7.1 | Kesimpulan | 96 |
| 7.1.1 | Perancangan dan Implementasi Sistem RAG | 96 |
| 7.1.2 | Evaluasi Performa Sistem RAG | 96 |
| 7.2 | Saran | 97 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 100 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------|---|----|
| 3.1 | Rancangan arsitektur Retrieval-Augmented Generation | 22 |
| 4.1 | Rancangan diagram alur sekuensial RAG | 34 |
| 4.2 | Arsitektur Microservices untuk Sistem Penjawab Pertanyaan Hukum | 36 |
| 4.3 | Rancangan arsitektur RAG untuk dokumen legal | 38 |
| 4.4 | Flowchart Pipeline Indexing | 40 |
| 4.5 | Flowchart Pipeline Query Processing | 41 |
| 4.6 | Flowchart Pipeline Sparse Retrieval | 42 |
| 4.7 | Flowchart Pipeline Dense Retrieval | 43 |
| 4.8 | Flowchart Pipeline Reranking | 44 |
| 4.9 | Flowchart Pipeline Generation | 45 |
| 4.10 | Flowchart Pipeline Evaluation | 47 |
| 6.1 | Dashboard utama sistem | 95 |
| 6.2 | Halaman manajemen dokumen | 95 |
| 6.3 | Form unggah dokumen | 95 |
| 6.4 | Daftar dokumen terindeks | 95 |
| 6.5 | Antarmuka pencarian | 95 |
| 6.6 | Hasil pencarian dengan sumber | 95 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini dalam Domain RAG | 13 |
| 5.1 | Struktur Tabel Users | 52 |
| 5.2 | Struktur Tabel User Documents | 53 |
| 5.3 | Struktur Tabel Pendukung Sistem | 54 |
| 5.4 | Enumerasi Sistem untuk Type Safety | 55 |
| 5.5 | Authentication API Endpoints | 56 |
| 5.6 | Document Management API - Document Operations | 57 |
| 5.7 | Document Management API - Collection Operations | 57 |
| 5.8 | Query Processing API Endpoints | 58 |
| 6.1 | Lingkungan Investigasi Sistem | 81 |
| 6.2 | Hasil Pengujian Endpoint Sistem Produksi | 82 |
| 6.3 | Metrik Performa Sistem pada Environment Produksi | 83 |
| 6.4 | Distribusi Dokumen Hukum Indonesia yang Ditemukan | 84 |
| 6.5 | Struktur Dataset Evaluasi | 84 |
| 6.6 | Hasil Evaluasi RAGAS pada 150 Query | 86 |
| 6.7 | Performa Sistem Berdasarkan Tipe Query | 87 |
| 6.8 | Performa Sistem Berdasarkan Tingkat Kesulitan | 88 |
| 6.9 | Benchmark Performa Sistem terhadap Target Spesifikasi | 92 |