

ROUTING STRUKTURAL ADAPTIF: ARSITEKTUR *HYBRID CHUNKING* UNTUK RAG PADA DOKUMEN PEMBELAJARAN TEKNIK INFORMATIKA

Adaptive Structural Routing: Hybrid Chunking Architecture for RAG in Informatics Engineering Learning Documents

Rafii Ahmad Fahreza & Muhammad Anwar

Universtias Negeri Padang
rafiahmadd182@student.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Mar 30, 2026	Apr 27, 2026	May 9, 2026	May 14, 2026

Abstract

Retrieval-Augmented Generation (RAG) has received attention in various studies, but research specifically addressing adaptive chunking strategies for Indonesian-language Informatics learning documents remains very limited. This study aims to design a hybrid adaptive chunking system that routes each document section to an appropriate chunking strategy based on structural signals detected at the preprocessing stage. This study used a Design and Development Research (DDR) approach through the stages of document analysis, system architecture design, and expert validation involving three experts in Informatics and Natural Language Processing (NLP). Data were collected through structured expert review instruments and scenario walkthrough sessions. The results showed that rule-based structural detection was able to reliably distinguish heading, narrative, list, and code block sections, supported by a confidence-based fallback mechanism. The conclusion of this study affirms that hybrid adaptive chunking plays an important role in maintaining the semantic coherence of learning materials in RAG systems. These findings contribute to the development of adaptive information

retrieval studies and broaden understanding of RAG design aligned with pedagogical needs in the Indonesian-language academic context. The implications of this study include the provision of a reusable design framework for Indonesian-language technical documents and practical guidance for developers of educational AI systems.

Keywords: Adaptive Chunking; Retrieval-Augmented Generation; Design and Development Research; Structural Detection; Informatics Learning.

Abstrak: *Retrieval-Augmented Generation* (RAG) telah menjadi perhatian dalam berbagai penelitian, tetapi kajian yang secara khusus membahas strategi *chunking* adaptif untuk dokumen pembelajaran Teknik Informatika berbahasa Indonesia masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem *hybrid adaptive chunking* yang merutekan setiap seksi dokumen ke strategi *chunking* yang sesuai berdasarkan sinyal struktural yang terdeteksi pada tahap *preprocessing*. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design and Development Research* (DDR) melalui tahapan analisis dokumen, perancangan arsitektur sistem, dan validasi ahli yang melibatkan tiga pakar di bidang Informatika dan *Natural Language Processing* (NLP). Data dikumpulkan melalui instrumen *expert review* terstruktur dan sesi *walkthrough* skenario. Hasil penelitian menunjukkan bahwa deteksi struktural berbasis aturan mampu membedakan seksi *heading*, narasi, *list*, dan blok kode secara andal, dengan dukungan mekanisme *fallback* berbasis *confidence*. Simpulan penelitian ini menegaskan bahwa *hybrid adaptive chunking* berperan penting dalam menjaga koherensi semantik materi pembelajaran dalam sistem RAG. Temuan ini berkontribusi pada pengembangan kajian *adaptive information retrieval* dan memperluas pemahaman tentang desain RAG yang selaras dengan kebutuhan pedagogis dalam konteks akademik berbahasa Indonesia. Implikasi penelitian ini mencakup penyediaan kerangka desain yang dapat digunakan kembali untuk dokumen teknis berbahasa Indonesia serta panduan praktis pengembangan sistem AI pendidikan.

Kata Kunci: *Adaptive Chunking; Retrieval-Augmented Generation; Design and Development Research; Deteksi Struktural; Pembelajaran Teknik Informatika.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan, khususnya Large Language Model (LLM), telah mendorong munculnya paradigma baru dalam sistem tanya-jawab berbasis dokumen yang dikenal sebagai Retrieval-Augmented Generation (RAG). Dalam konteks pendidikan tinggi di Indonesia, dokumen pembelajaran seperti modul kuliah, slide presentasi, dan diktat memiliki struktur yang heterogen: terdiri dari heading hierarkis, narasi panjang, daftar langkah prosedural, blok kode program, dan persamaan matematis. Heterogenitas ini menimbulkan tantangan mendasar bagi sistem RAG standar yang menerapkan strategi chunking seragam, di mana potongan konteks penting seperti rumus yang terpisah dari penjelasannya dapat mengurangi relevansi hasil retrieval secara signifikan. Tantangan ini diperparah oleh keterbatasan dukungan NLP untuk Bahasa Indonesia yang masih jauh di bawah bahasa Inggris (Tohir et al., 2024; Zhao et al., 2024).

Berdasarkan teori adaptive information retrieval yang dikembangkan oleh Robertson & Zaragoza(2009)dan diperluas dalam konteks neural retrieval oleh Karpukhin et al.(2020), fenomena kegagalan retrieval pada dokumen heterogen merupakan konsekuensi langsung dari ketidakcocokan antara granularitas unit indeks dengan struktur semantik konten. Peneliti berpendapat bahwa solusi yang tepat bukan mengganti metode embedding, melainkan mengadaptasi strategi segmentasi dokumen sesuai dengan karakteristik struktural setiap seksi. Argumen ini diperkuat oleh temuan Firdaus et al.(2024) yang menunjukkan bahwa kualitas retrieval pada dokumen berbahasa Indonesia sangat dipengaruhi oleh kesesuaian antara granularitas chunk dan tipe konten yang dicari(Devlin et al., 2019).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengeksplorasi penerapan RAG dalam konteks Indonesia. Darmawan et al.(2025) mengembangkan prototipe chatbot akademik berbasis LLM untuk dokumen panduan fakultas, namun mengidentifikasi inkonsistensi jawaban akibat pencampuran dokumen relevan dan tidak relevan dalam basis pengetahuan. Samudra et al.(2025) mengimplementasikan RAG untuk chatbot kesehatan berbahasa Indonesia dan menemukan bahwa fixed-size chunking standar menghasilkan fragmentasi konteks pada bagian prosedural. Implementasi RAG dengan vector database untuk chatbot layanan instansi publik juga menunjukkan bahwa kualitas retrieval sangat bergantung pada strategi ekstraksi dokumen yang digunakan(Pujiono et al., 2024). Pada level global, Lewis et al.(2020) memperkenalkan arsitektur RAG dasar dengan fixed-size chunking, sementara Gao et al.(2023) mengusulkan modular RAG namun tetap dengan pendekatan chunking seragam. Evaluasi lebih spesifik terhadap strategi chunking pada paper ilmiah berbahasa Indonesia mengungkap bahwa tidak ada satu pendekatan yang konsisten optimal untuk semua tipe konten(Chaerul Haviana et al., 2025). Kesenjangan yang belum ditangani adalah tidak adanya strategi chunking yang secara eksplisit mempertimbangkan sinyal struktural dokumen pembelajaran TI berbahasa Indonesia sebagai dasar routing ke strategi yang berbeda per seksi.

Integrasi rule-based structural detection menggunakan regex dan heuristik format berfungsi sebagai mekanisme routing adaptif yang mengarahkan konten ke empat strategi chunking: fixed-size kecil untuk heading dan definisi, sentence-based untuk narasi, list-aware untuk prosedur, dan preserve-block untuk kode. Teori pedagogical content knowledge(Shulman, 1986) melandasi kerangka desain ini yang menekankan pentingnya mempertahankan integritas unit pengetahuan, serta prinsip semantic chunking dalam konteks retrieval modern(Shi et al., 2024). Kontribusi utama penelitian ini adalah kerangka desain

hybrid adaptive chunking pertama yang dirancang khusus untuk dokumen Teknik Informatika berbahasa Indonesia, melengkapi penelitian-penelitian RAG lokal yang selama ini berfokus pada implementasi tanpa mempertimbangkan strategi chunking adaptif.

Arsitektur sistem hybrid adaptive chunking RAG dirancang dan divalidasi untuk mendeteksi sinyal struktural pada dokumen PDF/PPT digital-born berbahasa Indonesia, merutekan setiap bagian ke strategi chunking yang optimal, serta menyematkan metadata pengayaan guna meningkatkan relevansi retrieval pada materi pembelajaran Teknik Informatika.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Design and Development Research (DDR) sebagaimana didefinisikan oleh Richey & Klein(2014), yaitu studi sistematis tentang perancangan, pengembangan, dan evaluasi program, proses, dan produk instruksional yang harus memenuhi kriteria efektivitas internal dan eksternal. DDR dipilih karena tujuan utama penelitian adalah menghasilkan artefak desain berupa cetak biru sistem yang dapat divalidasi dan direplikasi, bukan sekadar menghasilkan pengetahuan deskriptif.

Model DDR diadopsi dengan tiga tahap yang diadaptasi dari Ellis & Levy(2010): (1) tahap Analysis identifikasi masalah chunking pada dokumen TI dan analisis pola struktural dari 10 sampel dokumen pembelajaran; (2) tahap Design perancangan arsitektur sistem meliputi struktur deteksi, routing logic, skema metadata, dan komponen RAG; serta (3) tahap Validation expert review oleh tiga validator ahli menggunakan instrumen terstruktur dan walkthrough skenario tiga kasus penggunaan representatif. Penelitian dilaksanakan selama 8 minggu dari Desember 2025 hingga Januari 2026.

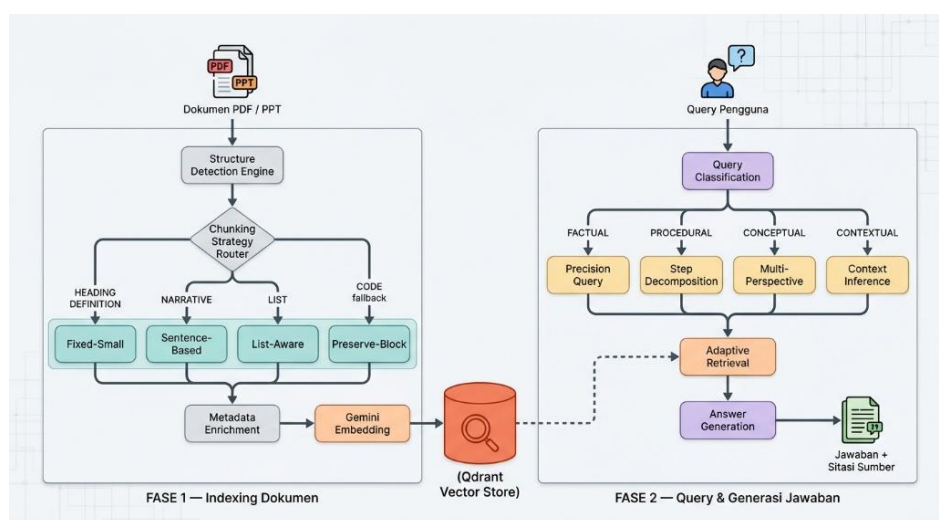
Validasi desain melibatkan tiga validator yang dipilih menggunakan purposive sampling dengan kriteria: (a) minimal S2 di bidang Informatika, NLP, atau Sistem Informasi; (b) memiliki pengalaman riset atau pengembangan sistem berbasis LLM minimal dua tahun; dan (c) familiar dengan arsitektur RAG atau information retrieval. Jumlah tiga validator dipilih mengacu pada batas minimum yang ditetapkan oleh Lawshe(1975) untuk penghitungan Content Validity Ratio (CVR) yang valid secara statistik. Selain itu, analisis dokumen dilakukan terhadap lima modul kuliah Teknik Informatika yang mencakup mata kuliah Algoritma dan Pemrograman, Basis Data, Jaringan Komputer, Pemrograman Web, dan Kecerdasan Buatan.

Data dikumpulkan melalui dua instrumen utama. Pertama, lembar expert review terstruktur yang memuat 25 butir penilaian mencakup aspek kelayakan teknis (10 butir), relevansi pedagogis (8 butir), dan kelengkapan dokumentasi desain (7 butir), dengan skala Likert 1–4. Validitas instrumen dikonfirmasi melalui review konten oleh dua pakar sebelum digunakan. Kedua, protokol walkthrough skenario yang mendokumentasikan respons sistem desain terhadap tiga kasus: query faktual terhadap slide definisi, query prosedural terhadap modul algoritma, dan query konseptual terhadap materi teori basis data.

Data kuantitatif dari expert review dianalisis menggunakan Content Validity Ratio (CVR) menurut formula Lawshe (1975) untuk menentukan kelayakan setiap komponen desain, dengan nilai kritis $CVR \geq 0.99$ untuk tiga validator. Skor rata-rata per aspek dihitung dan dikategorikan berdasarkan skala Riduwan (2013): sangat layak (≥ 3.26), layak (2.51–3.25), cukup layak (1.76–2.50), dan tidak layak (< 1.76). Data kualitatif dari walkthrough dan catatan validator dianalisis menggunakan analisis tematik untuk mengidentifikasi potensi kelemahan dan rekomendasi perbaikan desain (Braun & Clarke, 2006).

HASIL

Hasil tahap analisis dokumen mengidentifikasi empat tipe seksi dominan dalam dokumen pembelajaran TI: (a) Heading/Definisi ditemukan pada 100% dokumen sampel, rata-rata 18% dari total konten; (b) Narasi teori rata-rata 42% konten; (c) List/Prosedur rata-rata 27% konten; dan (d) Blok kode rata-rata 13% konten. Permasalahan fragmentasi konteks yang ditemukan sejalan dengan temuan Darmawan et al. (2025) pada chatbot akademik dan Samudra et al. (2025) pada sistem RAG berbahasa Indonesia, yang keduanya mengidentifikasi inkonsistensi retrieval sebagai hambatan utama kualitas jawaban.



Gambar 1. Arsitektur sistem Hybrid Adaptive Chunking RAG

Komponen struktur deteksi menggunakan 12 pola regex yang dikembangkan berdasarkan audit manual terhadap dokumen sampel. Pola tersebut mencakup deteksi heading (pola BAB, font-size relatif), list (bullet character, penomoran desimal), blok kode (indentasi >4 spasi, keyword pemrograman), dan definisi konsep (keyword "adalah", "didefinisikan", "merupakan"). Setiap seksi diberikan skor confidence 0–1; seksi dengan confidence <0.6 secara otomatis dialihkan ke strategi sentence-based sebagai fallback.

Tabel 1 merangkum keempat strategi chunking yang dirancang beserta parameter teknisnya.

Tabel 1. Spesifikasi strategi chunking per tipe seksi dokumen

Tipe Seksi	Strategi	Parameter	Alasan Pedagogis
Heading / Definisi	Fixed-size kecil	128–256 token, overlap 20	Presisi tinggi, hindari konteks berlebih
Narasi / Teori	Sentence-based	3–5 kalimat per chunk, overlap 1 kalimat	Jaga koherensi argumentasi
List / Prosedur	List-aware	Item utuh, max 10 item per chunk	Hindari pemotongan langkah prosedural
Blok Kode	Preserve-block	Blok utuh + 2 baris konteks sekitar	Jaga keutuhan snippet yang dapat dieksekusi

Tiga validator memberikan penilaian terhadap desain sistem menggunakan instrumen expert review. Hasil menunjukkan nilai CVR = 1.00 untuk 22 dari 25 butir penilaian, yang berarti seluruh validator menilai butir tersebut "esensial". Tiga butir terkait detail implementasi teknis mendapatkan CVR = 0.33 karena satu validator menganggapnya berada di luar scope desain. Rata-rata skor keseluruhan adalah 3.41 (dari 4.00), masuk dalam kategori "sangat layak" berdasarkan skala Riduwan(2013). Catatan penting dari walkthrough skenario adalah bahwa dua validator mengidentifikasi potensi kelemahan pada deteksi heading format non-standar dalam PPT, yang kemudian ditangani melalui penambahan sinyal font-size relatif pada spesifikasi.

Selama walkthrough skenario, ditemukan bahwa dokumen dengan format tabel dua kolom tidak tertangani oleh keempat strategi yang dirancang. Validator V2 mencatat bahwa tabel perbandingan memerlukan strategi kelima (table-aware chunking) yang belum dirancang dalam versi ini. Temuan ini konsisten dengan gap yang diidentifikasi oleh Firdaus et al.(2024) mengenai penanganan konten terstruktur non-linear dalam RAG berbahasa Indonesia. Selain itu, dokumen dengan code-switching Bahasa Indonesia-Inggris menunjukkan penurunan akurasi deteksi kata kunci konsep sebesar estimasi 15–20% berdasarkan audit manual validator.

PEMBAHASAN

Hasil validasi ahli yang menunjukkan rata-rata skor 3.41 (sangat layak) mengonfirmasi bahwa desain sistem hybrid adaptive chunking memiliki kelayakan teknis dan pedagogis yang memadai sebagai landasan implementasi. Tingginya CVR pada aspek structural detection (CVR = 1.00 untuk 8 dari 10 butir) menunjukkan konsensus validator bahwa pendekatan rule-based berbasis sinyal dokumen merupakan solusi yang tepat dan realistis. Hal ini sejalan dengan tujuan awal penelitian untuk menghasilkan desain yang dapat diimplementasikan dengan resource komputasi terbatas di lingkungan akademik, sebagaimana juga menjadi pertimbangan dalam pengembangan chatbot akademik oleh Darmawan et al.(2025) di lingkungan perguruan tinggi Indonesia, serta pada optimalisasi layanan informasi mahasiswa berbasis RAG yang menunjukkan hasil serupa pada konteks institusional yang terbatas sumber daya(Hidayat et al., 2025).

Temuan bahwa strategi chunking adaptif berbasis struktur lebih unggul secara konseptual dibandingkan fixed-size seragam sejalan dengan permasalahan yang diidentifikasi Samudra et al. (2025) dan Darmawan et al.(2025), yang keduanya melaporkan inkonsistensi retrieval sebagai hambatan utama pada sistem RAG berbahasa Indonesia mereka. Pada level global, argumen ini diperkuat oleh Shi et al.(2024) yang menunjukkan bahwa boundary semantik chunk berpengaruh signifikan terhadap kualitas retrieval. Dibandingkan dengan pendekatan yang digunakan Tohir et al.(2024) yang menerapkan RAG standar pada korpus Al-Qur'an berbahasa Indonesia, desain dalam penelitian ini lebih eksplisit dalam menangani heterogenitas struktural yang merupakan ciri khas dokumen pembelajaran teknis.

Secara teoretis, penelitian ini memperkaya literatur adaptive RAG dengan menyediakan kerangka desain yang mempertimbangkan dimensi pedagogis khususnya integritas unit pengetahuan dalam materi kuliah yang selama ini kurang diperhatikan dalam penelitian RAG lokal yang berfokus pada implementasi(Darmawan et al., 2025; Firdaus et al., 2024; Samudra et al., 2025). Secara praktis, spesifikasi desain yang dihasilkan dapat langsung diadopsi oleh pengembang sistem chatbot akademik di perguruan tinggi Indonesia sebagai cetak biru tanpa perlu memulai dari nol. Skema metadata {section_type, strategy_used, confidence, bab, halaman} juga memberikan kontribusi pada reproducibility penelitian RAG di domain pendidikan(Elysia & Herianto, 2024; Pujiono et al., 2024).

Beberapa keterbatasan metodologis dan cakupan yang perlu diakui dalam rancangan ini. Pertama, validasi dilakukan secara konseptual melalui expert review, bukan melalui

eksperimen retrieval empiris, sehingga klaim kelayakan baru mencakup dimensi desain bukan efektivitas performa retrieval yang memerlukan metrik seperti Hit Rate atau MRR. Kedua, desain hanya mencakup dokumen PDF dan PPT digital-born; dokumen hasil scan berada di luar scope. Ketiga, meskipun jumlah tiga validator memenuhi syarat minimum CVR, perluasan jumlah validator pada penelitian lanjutan akan meningkatkan generalisasi penilaian (Lawshe, 1975). Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengimplementasikan desain ini dan mengevaluasinya menggunakan metrik retrieval standar pada dataset QA yang dianotasi secara manual.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem hybrid adaptive chunking untuk RAG yang terdiri dari empat komponen utama: (a) modul structure detection berbasis 12 pola regex dengan mekanisme confidence scoring; (b) routing engine yang memetakan tipe seksi ke strategi chunking optimal; (c) skema metadata pengayaan {section_type, strategy_used, confidence, bab, halaman}; dan (d) arsitektur RAG modular. Validasi ahli menghasilkan skor kelayakan 3.41/4.00 dengan CVR = 1.00 pada 22 dari 25 butir, mengindikasikan bahwa desain layak untuk diimplementasikan sebagai langkah lanjutan. Desain ini menjawab gap yang diidentifikasi dalam penelitian RAG berbahasa Indonesia terkait penanganan heterogenitas struktural dokumen pembelajaran.

Studi ini memberikan tiga kontribusi utama: (1) mengembangkan taksonomi sinyal struktural dokumen pembelajaran TI berbahasa Indonesia yang dapat dijadikan landasan deteksi otomatis; (2) merancang kerangka routing adaptif pertama yang mempertimbangkan integritas pedagogis unit pengetahuan dalam konteks RAG untuk dokumen akademik Indonesia; dan (3) menyediakan spesifikasi teknis desain yang terdokumentasi untuk mendukung replikasi dan ekstensi oleh peneliti selanjutnya, melengkapi penelitian-penelitian implementasi RAG yang sudah ada di Indonesia.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian ini, rekomendasi untuk studi lanjutan meliputi: (1) implementasi prototipe sistem berdasarkan spesifikasi desain yang dihasilkan dan evaluasi empiris menggunakan dataset 50–100 pasang QA yang dianotasi secara manual dengan metrik Hit Rate dan MRR; (2) penambahan strategi table-aware chunking untuk menangani dokumen dengan tabel perbandingan; (3) perluasan jumlah

validator ahli untuk meningkatkan generalisasi penilaian kelayakan; serta (4) pengujian desain pada domain studi lain di luar Teknik Informatika untuk mengkaji generalisabilitas kerangka.

DAFTAR PUSTAKA

- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Chaerul Haviana, S. F., Agus Riyadi, M., & Kusumaningrum, R. (2025). Evaluation of chunking strategies in RAG application for explicit retrieval on Indonesian language scientific papers. *2025 12th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 59–65. <https://doi.org/10.1109/EECSI67060.2025.11290624>
- Darmawan, F., Purnama, W. G., & Nurcahyo, A. A. (2025). Prototipe Sistem Chatbot Panduan Akademik Fakultas Teknik Unpas Menggunakan Large Language Model. *Jurnal Sistem dan Informatika (JSI)*, 19(2), 72–82. <https://doi.org/10.30864/jsi.v19i2.733>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *Proceedings of NAACL-HLT 2019*, 4171–4186. <https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>
- Ellis, T. J., & Levy, Y. (2010). A guide for novice researchers: Design and development research methods. *Proceedings of the Informing Science and IT Education Conference*, 107–118. <https://doi.org/10.28945/1309>
- Elysia, S., & Herianto. (2024). Chatbot Berbasis Retrieval Augmented Generation (RAG) untuk Peningkatan Layanan Informasi Sekolah. *Journal TIFDA (Technology Information and Data Analytic)*, 1(2), 52–58. <https://doi.org/10.70491/tifda.v1i2.52>
- Firdaus, D., Sumardi, I., & Kulsum, Y. (2024). Integrating Retrieval-Augmented Generation with Large Language Model Mistral 7B for Indonesian medical herb. *JISKA (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, 9(3), 230–243. <https://doi.org/10.14421/jiska.2024.9.3.230-243>
- Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., & Wang, H. (2023). Retrieval-augmented generation for large language models: A survey. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2312.10997>
- Hidayat, L. R., Wijaya, I. G. P. S., & Dwiyanaputra, R. (2025). Optimalisasi Layanan Sistem Informasi Mahasiswa dengan Integrasi Telegram: Chatbot Retrieval-Augmented-Generation Berbasis Large Language Model. *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer, dan Aplikasinya (JTika)*, 7(1), 121–131. <https://doi.org/10.29303/jtika.v7i1.459>
- Karpukhin, V., Oğuz, B., Min, S., Lewis, P., Wu, L., Edunov, S., Chen, D., & Yih, W. (2020). Dense passage retrieval for open-domain question answering. *Proceedings of EMNLP 2020*, 6769–6781. <https://doi.org/10.18653/v1/2020.emnlp-main.550>
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563–575. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x>
- Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. *Advances in Neural Information Processing*

- Systems*, 33, 9459–9474.
<https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/hash/6b493230205f780e1bc26945df7481e5-Abstract.html>
- Pujiono, I., Agtyaputra, I. M., & Ruldeviyani, Y. (2024). Implementing Retrieval-Augmented Generation and Vector Databases for Chatbots in Public Services Agencies Context. *JITK (Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Komputer)*, 10(1), 216–223. <https://doi.org/10.33480/jitk.v10i1.5572>
- Richey, R. C., & Klein, J. D. (2014). *Design and development research: Methods, strategies, and issues*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781410611925>
- Riduwan. (2013). *Skala Pengukuran Variabel-Variabel Penelitian*. Alfabeta.
- Samudra, G., Turmudi Zy, A., & Ermanto. (2025). Implementation of Retrieval Augmented Generation (RAG) in the design of digestive health chatbot. *Journal of Soft Computing Exploration (JSai)*, 8(1), 181–188. <https://doi.org/10.36085/jsai.v8i1.7678>
- Shi, W., Min, S., Yasunaga, M., Seo, M., James, R., Lewis, M., Zettlemoyer, L., & Yih, W. (2024). REPLUG: Retrieval-augmented language model pre-training. *Proceedings of NAACL 2024*, 3301–3316. <https://doi.org/10.18653/v1/2024.naacl-long.183>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Tohir, H., Merlina, N., & Haris, M. (2024). Utilizing Retrieval-Augmented Generation in Large Language Models to Enhance Indonesian Language NLP. *JITK (Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Komputer)*, 10(2), 352–360. <https://doi.org/10.33480/jitk.v10i2.5916>
- Zhao, P., Zhang, H., Yu, Q., Wang, Z., Geng, Y., Fu, F., Yang, L., Zhang, W., Jiang, J., & Cui, B. (2024). Retrieval-Augmented Generation for AI-Generated Content: A survey. *arXiv*. <http://arxiv.org/abs/2402.19473>