

**PENGEMBANGAN CHATBOT DENGAN PENDEKATAN RAG
UNTUK MENDUKUNG PENGELOLAAN LIMBAH
RADIOAKTIF**



TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan pada Program Strata Satu (S.1)

IHSAN AULIA RAHMAN

15210014

**Program Studi Sains Data
Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Nusa Mandiri
Jakarta
2025**

PERSEMBAHAN

*“Bekerjalah untuk duniamu seakan-akan engkau akan hidup selamanya, dan
bekerjalah untuk akhiratmu seakan-akan engkau akan mati besok.”*

— Ali bin Abi Thalib

Segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta’ala atas limpahan rahmat, kekuatan, dan petunjuk-Nya yang tak terhingga, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh rasa syukur dan harapan. Di balik setiap prosesnya, ada mereka yang dengan tulus memberi arti dan kekuatan dalam diam maupun tindakan.

Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, karya ini penulis persembahkan kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta, yang selalu menjadi cahaya dalam gelap, penyemangat dalam lelah, dan sumber doa dalam setiap langkah. Juga kepada kakak dan keluarga, atas kasih sayang dan dukungan yang tak tergantikan.
2. Ibu Tati Mardiana, S.Kom., M.Kom. dan Pak Riki Supriyadi S.Kom., M.Kom., Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing dengan kesabaran, memberi arahan dengan ketelitian, serta memberikan ruang berkembang bagi penulis.
3. Seluruh Dosen dan Staf Akademik Universitas Nusa Mandiri, yang telah menjadi penggerak intelektual dan pembentuk karakter akademik penulis selama menempuh studi di Fakultas Teknologi Informasi.
4. Bapak dan Ibu Peneliti dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), atas ilmu, bimbingan, serta pengalaman empiris yang sangat berharga dalam mendukung penelitian ini.
5. Teman-teman satu angkatan (Kelas 15.8A.10), sahabat seperjuangan, serta seluruh pihak yang telah memberikan semangat dan kontribusi, baik dalam bentuk dukungan moral, bantuan teknis, maupun motivasi yang tak ternilai sepanjang proses penyusunan tugas akhir ini.

Semoga karya ini menjadi bentuk kecil dari kontribusi ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang Data Science, serta dapat bermanfaat bagi masa depan yang lebih baik.

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya :

Nama : Ihsan Aulia Rahman
NIM : 15210014
Program Studi : Sains Data – S1
Fakultas : Teknologi Informasi
Perguruan Tinggi : Universitas Nusa Mandiri

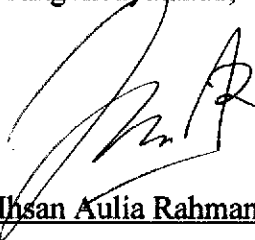
Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang telah saya buat dengan judul : **“Pengembangan Chatbot Dengan Pendekatan RAG Untuk Mendukung Pengelolaan Limbah Radioaktif”**, adalah asli (orisinil) atau tidak plagiat (menjiplak) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dan dalam bentuk apapun. Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun juga. Apabila dikemudian hari ternyata saya memberikan keterangan palsu dan atau ada pihak lain yang mengklaim bahwa Tugas Akhir yang telah saya buat adalah hasil karya milik seseorang atau badan tertentu, saya bersedia diproses baik secara pidana maupun perdata dan kelulusan saya dari **Universitas Nusa Mandiri** dicabut/dibatalkan.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 31 Juli 2025

Yang menyatakan,




Ihsan Aulia Rahman

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya :

Nama : Ihsan Aulia Rahman
NIM : 15210014
Program Studi : Sains Data – S1
Fakultas : Teknologi Informasi
Perguruan Tinggi : Universitas Nusa Mandiri

Dengan ini menyetujui untuk memberikan izin kepada pihak Universitas Nusa Mandiri, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non- exclusive Royalti-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: **“Pengembangan Chatbot Dengan Pendekatan RAG Untuk Mendukung Pengelolaan Limbah Radioaktif”**, beserta perangkat yang diperlukan (apabila ada).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini kepada pihak **Universitas Nusa Mandiri** berhak menyimpan, mengalih-media atau format-kan, mengelolanya dalam pangkalan data (database), mendistribusikannya dan menampilkan atau mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai peneliti/pencipta karya ilmiah tersebut.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Nama Institusi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 31 Juli 2025

Yang menyatakan,



Ihsan Aulia Rahman

PERSETUJUAN DAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ihsan Aulia Rahman
NIM : 15210014
Program Studi : Sains Data
Fakultas : Teknologi Informasi
Jenjang : Sarjana (S1)
Judul Tugas Akhir : Pengembangan Chatbot Dengan Pendekatan RAG Untuk Mendukung Pengelolaan Limbah Radioaktif

Telah dipertahankan pada periode 2025-1 dihadapan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh Sarjana Sains Data (S.Si.D) pada Program Sarjana Program Studi Sains Data Fakultas Teknologi Informasi di Universitas Nusa Mandiri.

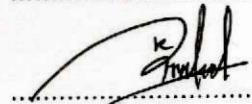
Jakarta, 14 Agustus 2025

PEMBIMBING TUGAS AKHIR

Dosen Pembimbing : Tati Mardiana, M.Kom.



Asisten Pembimbing : Riki Supriyadi, M.Kom.

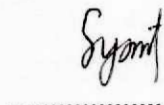


DEWAN PENGUJI

Penguji I : Nanang Ruhjana, M.Kom.



Penguji II : Syarah Seimahaira, M.Kom.



PEDOMAN PENGGUNAAN HAK CIPTA

Tugas Akhir yang berjudul “**Pengembangan Chatbot Dengan Pendekatan RAG Untuk Mendukung Pengelolaan Limbah Radioaktif**” adalah hasil karya tulis asli **Ihsan Aulia Rahman** dan bukan hasil terbitan sehingga peredaran karya tulis hanya berlaku di lingkungan akademik saja, serta memiliki hak cipta. Oleh karena itu, dilarang keras untuk menggandakan baik sebagian maupun seluruhnya karya tulis ini, tanpa seizin peneliti.

Referensi kepustakaan diperkenankan untuk dicatat tetapi pengutipan atau peringkasan isi tulisan hanya dapat dilakukan dengan seizin peneliti dan disertai ketentuan pengutipan secara ilmiah dengan menyebutkan sumbernya.

Untuk keperluan perizinan pada pemilik dapat menghubungi informasi yang tertera di bawah ini:

Nama	: Ihsan Aulia Rahman
Alamat	: Perum Griya Setu Permai 2 DD7 No.1 RT/RW. 010/015, Ciledug, Setu, Bekasi
No. Telp	: 0881025422133
E-mail	: 15210014@nusamandiri.ac.id

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta’ala atas limpahan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya yang telah menyertai setiap langkah dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam, suri teladan dalam menuntut ilmu dan menjalani kehidupan dengan penuh makna.

Tugas Akhir ini berjudul **“PENGEMBANGAN CHATBOT DENGAN PENDEKATAN RAG UNTUK Mendukung Pengelolaan Limbah Radioaktif”**, disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Strata Satu (S1) pada Program Studi Data Science, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Nusa Mandiri.

Penelitian ini lahir dari keprihatinan sekaligus semangat untuk turut serta menghadirkan solusi inovatif dalam pengelolaan limbah radioaktif yang kian menjadi isu penting di sektor riset dan teknologi nasional. Dengan menggabungkan pendekatan *machine learning*, *deep learning*, serta penggunaan *generative AI - Large Language Model*, penulis berharap hasil dari Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi nyata, baik secara akademis maupun praktis, khususnya dalam konteks pemanfaatan kembali limbah radioaktif secara aman dan efisien.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, dorongan, dan bantuan dari berbagai pihak yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof Dr. Dwiza Riana., S.Si., MM., M.Kom. sebagai Rektor Universitas Nusa Mandiri yang telah menyediakan lingkungan akademik yang kondusif untuk tumbuh dan belajar.
2. Wakil Rektor I dan Dekan Fakultas Teknologi Informasi Universitas Nusa Mandiri, yang telah memberikan arahan dan kebijakan akademik yang mendukung proses studi penulis.
3. Ketua Program Studi Data Science beserta seluruh Dosen Universitas Nusa Mandiri yang telah membagikan ilmu, pengalaman, dan nilai-nilai profesionalisme yang sangat berharga selama proses pembelajaran.
4. Ibu Tati Mardiana, S.Kom., M.Kom. dan Bapak Riki Supriyadi, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas dedikasi, bimbingan, dan

kesabarannya dalam memberikan arahan serta masukan yang konstruktif selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Bryan Givan S.E, M.M., yang membantu dan memberi jalan pada saya saat awal dan sampai akhir perkuliahan.
6. Bapak Nanang Ruhyana M.Kom., yang selalu membimbing saya baik di dalam maupun di luar perkuliahan dan memberikan wawasan baru disaat masa perkuliahan.
7. Seluruh Dosen yang sudah mengerahkan tenaga dan dan pikirannya untuk melimpahkan ilmunya kepada saya dan teman-teman selama proses studi.
8. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memberikan akses data, wawasan empiris, serta ruang pembelajaran nyata dalam dunia riset dan teknologi nasional, yang sangat mendukung validitas penelitian ini.
9. Bapak Dr. Hendra Adhi Pratama, M.Si., Bapak Ir. Raden Sumarbagiono (Yaya), MT., Bapak Ir Sucipta, M.Si, Bapak Zico Pratama Putra, M.Sc, Ph.D, Bapak Muhammad Yusuf, Ph.D. Beserta seluruh mentor di BRIN yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
10. Orang tua tercinta dan keluarga besar penulis, atas cinta, doa, dan pengorbanan yang tidak pernah berhenti mengalir sepanjang perjalanan hidup dan studi penulis.
11. Teman-teman satu angkatan (Kelas 15.8A.10), sahabat seperjuangan, serta seluruh pihak yang telah mendukung melalui semangat, diskusi, kerja sama, dan kontribusi positif selama proses studi hingga tersusunnya karya ilmiah ini.

Penulis juga menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi pengembangan kualitas akademik dan profesionalisme di masa mendatang.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi kontribusi kecil namun bermakna dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Data Science dan penerapannya dalam sektor strategis nasional.

Jakarta, 31 Juli 2025

Penulis



Ihsan Aulia Rahman

ABSTRAK

Keterbatasan akses terhadap informasi teknis yang komprehensif mengenai *Disused Sealed Radioactive Sources (DSRS)* menjadi tantangan dalam pengelolaan limbah radioaktif di Indonesia. Kebutuhan akan sistem digital yang mampu menyajikan klasifikasi, prosedur penanganan, dan pemanfaatan ulang DSRS secara interaktif mendorong pengembangan solusi berbasis kecerdasan buatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem chatbot berbasis *Large Language Model (LLM)* yang dilengkapi dengan pendekatan *Retrieval-Augmented Generation (RAG)* guna meningkatkan pemahaman kontekstual chatbot terhadap dokumen teknis terkait DSRS. Sistem mengintegrasikan dua jenis model LLM, yaitu model lokal melalui *Ollama* dan model eksternal berbasis API *OpenAI*, yang diakses melalui antarmuka pengguna *OpenWebUI*. Arsitektur RAG digunakan untuk mengekstraksi konteks dari dokumen teknis menggunakan vektor semantik sebelum dilakukan proses generatif. Evaluasi menggunakan empat metrik, yaitu *Cosine Similarity*, *ROUGE-L*, *BERTScore F1*, dan *Fuzzy Ratio* menunjukkan bahwa model *GPT o1 - Deep Thinking - With RAG* menghasilkan respons paling akurat dan relevan terhadap *ground truth*, dengan skor *Cosine Similarity* tertinggi sebesar 0.9026 dan *BERTScore F1* sebesar 0.8632. Hasil ini mengindikasikan bahwa integrasi LLM dan RAG secara signifikan meningkatkan kualitas jawaban chatbot dalam domain pengelolaan limbah radioaktif. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam bentuk prototipe sistem informasi yang adaptif dan dapat menunjang proses pengambilan keputusan serta diseminasi pengetahuan secara lebih efektif di bidang nuklir.

Kata kunci: *Limbah Radioaktif, DSRS, Chatbot, Large Language Model, RAG*

ABSTRACT

Limited access to comprehensive technical information on *Disused Sealed Radioactive Sources (DSRS)* poses a challenge in radioactive waste management in Indonesia. The need for a digital system capable of interactively presenting the classification, handling procedures, and reuse of DSRS has driven the development of artificial intelligence-based solutions. This research aims to develop a chatbot system based on a *Large Language Model (LLM)* equipped with a *Retrieval-Augmented Generation (RAG)* approach to enhance the chatbot's contextual understanding of technical documents related to DSRS. The system integrates two types of LLM models: a local model via *Ollama* and an external model based on the *OpenAI* API, accessed through the *OpenWebUI* user interface. The RAG architecture is used to extract context from technical documents using semantic vectors before the generative process. Evaluation using four metrics *Cosine Similarity*, *ROUGE-L*, *BERTScore F1*, and *Fuzzy Ratio* shows that the GPT-1 model with *Deep Thinking* and RAG generates the most accurate and relevant responses to the *ground truth*, with the highest *Cosine Similarity* score of 0.9026 and *BERTScore F1* of 0.8632. These results indicate that the integration of LLM and RAG significantly improves the quality of chatbot responses in the domain of radioactive waste management. This research contributes in the form of an adaptive information system prototype that can support decision-making processes and knowledge dissemination more effectively in the nuclear field.

Keywords: *Radioactive Waste, DSRS, Chatbot, Large Language Model, RAG*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSEMBAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN DAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN HAK CIPTA	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SIMBOL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Rumusan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Ruang Lingkup.....	5
 BAB II LANDASAN TEORI	 7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.1.1. <i>Disused Sealed Radioactive Source</i>	7
2.1.2. Chatbot	7
2.1.3. <i>Natural Language Processing</i>	8
2.1.4. <i>Large Language Model</i>	9
2.1.5. <i>Retrieval Augmented Generation</i>	9
2.1.6. <i>Embedding dan Vector Store</i>	10
2.1.7. OpenWebUI	11
2.1.8. Ollama	11
2.1.9. <i>Cosine Similarity</i>	12
2.1.10. <i>ROUGE-L</i>	12
2.1.11. <i>BERTScore F1</i>	13
2.1.12. <i>Fuzzy Ratio</i>	14
2.2. Penelitian Terkait	14
2.3. Tinjauan Organisasi / Objek Penelitian.....	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Tahapan Penelitian	22
3.2. Metode Pengumpulan Data	26
3.3. Model Pengembangan Sistem	27
3.4. Pemilihan Model LLM.....	28
3.5. Penjelasan <i>Embedding</i> dan <i>Vector Store</i>	29
3.5.1. <i>Embedding</i>	29
3.5.2. <i>Vector Store</i>	29
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Hasil Sistem Chatbot <i>DSRSafe-Bot</i>	31
4.2. Evaluasi Sistem Chatbot	32
4.2.1 Pengujian Penggunaan RAG di Tiap Model.....	32
4.3. Analisis Jawaban Model	32
4.4. Perbandingan Kinerja Respons tiap Model.....	33
4.4.1. Ketepatan dan Relevansi Kinerja Respons	33
4.4.2. Kecepatan Respon (<i>Time-to-Answer</i>)	36
4.4.3. Evaluasi Metrik Performa Teknis Model Lokal.....	36
4.5. Interpretasi Hasil dan Dampak Praktis.....	38
4.6. Keterbatasan Pengujian.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Profil Organisasi Riset Tenaga Nuklir.....	20
Gambar III.1 Arsitektur Chatbot dengan RAG	22
Gambar IV.1 Hasil sistem chatbot DSRSafe-Bot	31
Gambar IV.2 Evaluasi Metrik Tiap Model	34
Gambar IV.3 Model LLaMA3.1 8B – tanpa RAG	38
Gambar IV.4 Model Deepseek R-1 14B – tanpa RAG	39
Gambar IV.5 Model LLaMA3.1 8B – RAG - Fast Thinking	40
Gambar IV.6 Model DeepSeek R-1 14B – RAG - Deep Thinking	41
Gambar IV.7 DSRSafe-Bot – Fast Thinking – GPT-o3 mini	42
Gambar IV.8 DSRSafe-Bot – Deep Thinking – GPT-o1	43
Gambar IV.9 DSRSafe-Bot model lokal Fast Thinking – LLaMA3.1 8B RAG	44
Gambar IV.10 DSRSafe-Bot model lokal Deep Thinking – DeepSeek R1 14B RAG	46
Gambar IV.11 DSRSafe-Bot model Fast Thinking – GPT o3 mini RAG	48
Gambar IV.12 DSRSafe-Bot model Deep Thinking – GPT o1 RAG.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Studi Pengembangan Chatbot dan Pengelolaan Limbah Radioaktif.....	16
Tabel III.1 Nama Model LLM yang Digunakan.....	28
Tabel IV.1 Perbandingan Relevansi Model Tanpa Dan Dengan RAG.....	33
Tabel IV.2 Perbandingan Kecepatan Respon Model Tanpa Dan Dengan RAG.....	36
Tabel IV.3 Perbandingan Kecepatan Respon Model Tanpa Dan Dengan RAG.....	37

DAFTAR SIMBOL

(II.1) Rumus <i>Cosine Similarity</i>	12
(II.2) Rumus <i>ROUGE-L</i>	13
(II.3) Rumus <i>BERTScore</i>	13
(II.4) Rumus <i>Fuzzy Ratio</i>	14

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Daftar Riwayat Hidup	60
Lampiran B. Surat Keterangan Riset	61
Lampiran C. Lembar Bimbingan Tugas Akhir	62
Lampiran D. Bukti Deploy Sistem Chatbot DSRSafe-Bot	64
Lampiran E. Bukti Hasil pengecekan Plagiarisme di Turnitin	65

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN, “Data jumlah sumber radioaktif tersegel di Indonesia,” 2022.
- [2] IAEA, “IAEA ANNUAL REPORT 2018 IAEA Annual Report 2018,” *International Atomic Energy Agency*, vol. 63, no. 5, pp. 27–198, 2018.
- [3] J. H. Jurafsky, D., & Martin, *Speech and Language Processing*. 2023.
- [4] OpenAI *et al.*, “GPT-4 Technical Report,” vol. 4, pp. 1–100, 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2303.08774>
- [5] A. Grattafiori *et al.*, “The Llama 3 Herd of Models,” pp. 1–92, 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2407.21783>
- [6] Y. Zhang *et al.*, “Siren’s Song in the AI Ocean: A Survey on Hallucination in Large Language Models,” 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2309.01219>
- [7] R. Bommasani *et al.*, “On the Opportunities and Risks of Foundation Models,” pp. 1–214, 2022, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2108.07258>
- [8] P. Lewis *et al.*, “Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks,” *Adv Neural Inf Process Syst*, vol. 2020-Decem, 2020.
- [9] International Atomic Energy Agency, “Artificial Intelligence for Accelerating Nuclear Applications, Science and Technology,” *Artificial Intelligence for Accelerating Nuclear Applications, Science and Technology*, pp. 1–98, 2022, [Online]. Available: <https://www.iaea.org/publications/15198/artificial-intelligence-for-accelerating-nuclear-applications-science-and-technology>
- [10] V. Karpukhin *et al.*, “Dense passage retrieval for open-domain question answering,” *EMNLP 2020 - 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*, pp. 6769–6781, 2020, doi: 10.18653/v1/2020.emnlp-main.550.
- [11] G. Izacard and E. Grave, “Leveraging passage retrieval with generative models for open domain question answering,” *EACL 2021 - 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, Proceedings of the Conference*, pp. 874–880, 2021, doi: 10.18653/v1/2021.eacl-main.74.
- [12] W. E. Ojovan, M. I., & Lee, *An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation*. 2014.
- [13] Iaea, “GC(51)/5 - IAEA Annual Report 2006,” 2006.
- [14] Jurafsky, “Chatbots and Dialogue Systems Introduction to Chatbots and Dialogue Systems Conversational Agents”.

- [15] A. Casadei, S. Schlogl, and M. Bergmann, "Chatbots for Robotic Process Automation: Investigating Perceived Trust and User Satisfaction," *Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Human-Machine Systems, ICHMS 2022*, 2022, doi: 10.1109/ICHMS56717.2022.9980826.
- [16] R. R. Panigrahi *et al.*, "AI Chatbot Adoption in SMEs for Sustainable Manufacturing Supply Chain Performance," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 18, 2023.
- [17] X. Zhang, A. L. Chen, X. Piao, M. Yu, Y. Zhang, and L. Zhang, "Is AI chatbot recommendation convincing customer? An analytical response based on the elaboration likelihood model," *Acta Psychol (Amst)*, vol. 250, no. October, 2024, doi: 10.1016/j.actpsy.2024.104501.
- [18] A. Kelly, E. Noctor, L. Ryan, and P. van de Ven, "The Effectiveness of a Custom AI Chatbot for Type 2 Diabetes Mellitus Health Literacy: Development and Evaluation Study," *J Med Internet Res*, vol. 27, pp. 1–20, 2025, doi: 10.2196/70131.
- [19] M. Ltifi, "Trust in the chatbot: a semi-human relationship," *Future Business Journal*, vol. 9, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s43093-023-00288-z.
- [20] R. Nilsson and O. Rosman, "Design and Evaluation of a RAG Chatbot in an Industrial Setting," 2025.
- [21] F. Liu, Z. Kang, and X. Han, "Optimizing RAG Techniques for Automotive Industry PDF Chatbots: A Case Study with Locally Deployed Ollama ModelsOptimizing RAG Techniques Based on Locally Deployed Ollama ModelsA Case Study with Locally Deployed Ollama Models," *Proceedings of 2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Intelligent Information Processing, AIIIP 2024*, pp. 152–159, 2025, doi: 10.1145/3707292.3707358.
- [22] Y. Goldberg, *Neural Network Methods for Natural Language Processing*. 2017.
- [23] K. Mohiuddin *et al.*, "Attention Is All You Need," *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings*, no. Nips, pp. 4752–4758, 2023, doi: 10.1145/3583780.3615497.
- [24] J. Devlin, M. W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, "BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding," *NAACL HLT 2019 - 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies - Proceedings of the Conference*, vol. 1, no. Mlm, pp. 4171–4186, 2019.
- [25] T. B. Brown *et al.*, "Language models are few-shot learners," *Adv Neural Inf Process Syst*, vol. 2020-Decem, 2020.
- [26] M. Thirunavukarasu, A. J., Jassar, S., Fote, G., & Ghassemi, "Large Language Models," 2024.

- [27] K. Gao, Y., Xiong, Y., Gao, L., & Liu, *Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models*. 2024.
- [28] N. Reimers and I. Gurevych, "Sentence-BERT: Sentence embeddings using siamese BERT-networks," *EMNLP-IJCNLP 2019 - 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and 9th International Joint Conference on Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*, pp. 3982–3992, 2019, doi: 10.18653/v1/d19-1410.
- [29] Openwebui, "OpenWebUI Docs."
- [30] J. Ha, M. Kambe, and J. Pe, *Data Mining: Concepts and Techniques*. Elsevier, 2011. doi: 10.1016/C2009-0-61819-5.
- [31] A. Shiri, "Introduction to Modern Information Retrieval (2nd edition)," *Library Review*, vol. 53, no. 9, pp. 462–463, 2004, doi: 10.1108/00242530410565256.
- [32] C. Y. Lin, "Rouge: A package for automatic evaluation of summaries," in *Proceedings of the workshop on text summarization branches out (WAS 2004)*, Barcelona, Spain: Association for Computational Linguistics, Jul. 2004, pp. 25–26. [Online]. Available: papers2://publication/uuid/5DDA0BB8-E59F-44C1-88E6-2AD316DAEF85
- [33] P. J. Rao, K. N. Rao, and S. Gokuruboyina, "An Experimental Study with Fuzzy-Wuzzy (Partial Ratio) for Identifying the Similarity between English and French Languages for Plagiarism Detection," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 13, no. 10, pp. 393–401, 2022, doi: 10.14569/IJACSA.2022.0131047.
- [34] E. Laloy, B. Rogiers, A. Bielen, and S. Boden, "Bayesian inference of 1D activity profiles from segmented gamma scanning of a heterogeneous radioactive waste drum," *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 175, no. May, p. 109803, 2021, doi: 10.1016/j.apradiso.2021.109803.
- [35] D. S. Wisnubroto, H. Zamroni, R. Sumarbagiono, and G. Nurliati, "Challenges of implementing the policy and strategy for management of radioactive waste and nuclear spent fuel in Indonesia," *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 53, no. 2, pp. 549–561, 2021, doi: 10.1016/j.net.2020.07.005.
- [36] IAEA, *Management of Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in Industry*, no. October. 2022. [Online]. Available: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1998_web.pdf
- [37] C. Potts *et al.*, "A Multilingual Digital Mental Health and Well-Being Chatbot (ChatPal): Pre-Post Multicenter Intervention Study," *J Med Internet Res*, vol. 25, 2023, doi: 10.2196/43051.
- [38] S. Karkosz, R. Szymański, K. Sanna, and J. Michałowski, "Effectiveness of a Web-based and Mobile Therapy Chatbot on Anxiety and Depressive Symptoms in Subclinical Young Adults: Randomized Controlled Trial," *JMIR Form Res*, vol. 8, 2024, doi: 10.2196/47960.

- [39] Y. Ding and M. Najaf, “Interactivity, humanness, and trust: a psychological approach to AI chatbot adoption in e-commerce,” *BMC Psychol*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s40359-024-02083-z.
- [40] X. Cheng, Y. Bao, A. Zarifis, W. Gong, and J. Mou, “Exploring consumers’ response to text-based chatbots in e-commerce: the moderating role of task complexity and chatbot disclosure,” *Internet Research*, vol. 32, no. 2, pp. 496–517, 2022, doi: 10.1108/INTR-08-2020-0460.
- [41] H. K. L. Chau, T. T. A. Ngo, C. T. Bui, and N. P. N. Tran, “Human-AI interaction in E-Commerce: The impact of AI-powered customer service on user experience and decision-making,” *Computers in Human Behavior Reports*, vol. 19, no. June, p. 100725, 2025, doi: 10.1016/j.chbr.2025.100725.
- [42] P. Berger and J. von Garrel, “How to design a value-based Chatbot for the manufacturing industry: An empirical study of an internal assistance for employees,” *KI - Kunstliche Intelligenz*, vol. 37, no. 2–4, pp. 203–211, 2023, doi: 10.1007/s13218-023-00817-6.
- [43] M. Orden-Mejía, M. Carvache-Franco, A. Huertas, O. Carvache-Franco, and W. Carvache-Franco, “Analysing how AI-powered chatbots influence destination decisions,” *PLoS One*, vol. 20, no. 3 March, pp. 1–20, 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0319463.
- [44] I. A. Rahman *et al.*, “Integration of machine learning models for enhancing radioactive waste management of disused sealed radioactive sources,” *Nuclear Engineering and Design*, vol. 442, no. July, p. 114272, 2025, doi: 10.1016/j.nucengdes.2025.114272.
- [45] S. Syaiful Bachri Mustamin, Muhammad Atnang, *Data Science untuk Pemula: Menaklukkan Tantangan dan Peluang di Era Big Data*. Kendari: CV. Science Tech Group, 2024.
- [46] Dr. D. R. Wijaya, *Dasar Data Science: Dari Teori Ke Praktik*. Sleman: Deepublish, 2024.
- [47] A. A. Khan, M. T. Hasan, K. K. Kemell, J. Rasku, and P. Abrahamsson, “Developing Retrieval Augmented Generation (RAG) based LLM Systems from PDFs: An Experience Report,” pp. 1–36, 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2410.15944>