

Developing an NLP-Based Chatbot for Waste Management Education in Sungailiat

Bradika Almandin Wisesa^{1*}, Vivin Mahat Putri², Evvin Faristasari³, Sirlus Andreanto Jasman Duli⁴, Rahmat Lionza⁵

^{1,2,5} Informatics and Business Major, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat, 33211, Indonesia

^{3,4} Electronic and Agricultural Precision Major, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat, 33211, Indonesia

Informasi Artikel

Diterima : 9 Agustus 2025
Revisi : 8 September 2025
Publikasi : 30 September 2025

Kata Kunci:

Chatbot
NLP
Fuzzy
Sampah
Sungailiat

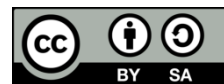
ABSTRAK

Penelitian ini memaparkan pengembangan dan evaluasi menyeluruh terhadap chatbot berbasis Natural Language Processing (NLP) yang dirancang untuk meningkatkan pendidikan pengelolaan sampah di Bank Sampah Sungailiat, Indonesia. Dengan mengintegrasikan logika fuzzy untuk pencocokan Pertanyaan yang Sering Diajukan (FAQ) secara akurat dan memanfaatkan model NLP berbasis transformer, DialoGPT-medium, chatbot ini memberikan respons yang relevan secara kontekstual terhadap pertanyaan pengguna mengenai operasional bank sampah, termasuk pemilahan sampah, proses daur ulang, dan insentif ekonomi. Penelitian ini menangani masalah rendahnya kesadaran masyarakat terhadap praktik pengelolaan sampah yang tepat, yang menghambat partisipasi efektif dalam program daur ulang. Sistem hibrida ini mencapai akurasi respons sebesar 85% dalam pengujian pengguna, divalidasi melalui analisis matriks konfusi yang mendetail. Temuan utama menunjukkan peningkatan signifikan dalam keterlibatan pengguna, retensi pengetahuan, dan kesadaran masyarakat, menunjukkan potensi chatbot sebagai solusi pendidikan lingkungan yang berbasis teknologi dan dapat diskalakan untuk konteks serupa di seluruh Indonesia.

ABSTRACT

This study presents the development and comprehensive evaluation of a Natural Language Processing (NLP)-based chatbot designed to improve waste management education at the Sungailiat Waste Bank, Indonesia. By integrating fuzzy logic for accurate Frequently Asked Questions (FAQ) matching and leveraging a transformer-based NLP model, DialoGPT-medium, the chatbot provides contextually relevant responses to user questions regarding waste bank operations, including waste sorting, recycling processes, and economic incentives. This study addresses the issue of low public awareness of proper waste management practices, which hinders effective participation in the recycling program. This hybrid system achieved 85% response accuracy in user testing, validated through detailed confusion matrix analysis. Key findings show significant improvements in user engagement, knowledge retention, and public awareness, demonstrating the chatbot's potential as a technology-based and scalable environmental education solution for similar contexts across Indonesia.

This is an open-access article under the [CC BY-SA](#) license



*Penulis Koresponden

Email: Bradika@polman-babel.ac.id

Cara sitasi IEEE:

B. A. Wisesa, V. H. Putri, E. Faristasari, S. A. J. Duli, & R. Lionza “Developing an NLP-Based Chatbot for Waste Management Education in Sungailiat,” *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering (J-AISE)*, vol. 5, no. 3, pp. 1245-1253, September 2025, doi: 10.30811/jaise.v5i3.7522

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah yang efektif merupakan landasan utama pembangunan berkelanjutan, terutama di wilayah yang berkembang pesat seperti Sungailiat, Indonesia, di mana bank sampah yang digerakkan oleh masyarakat, memainkan peran penting dalam mempromosikan prinsip 3R—Reduce, Reuse, dan Recycle. Inisiatif ini bertujuan untuk mengubah sampah menjadi sumber daya ekonomi sambil meningkatkan kesadaran lingkungan di kalangan warga. Namun, rendahnya tingkat kesadaran masyarakat dan keterbatasan akses terhadap informasi yang andal menjadi hambatan signifikan bagi keberhasilan program ini. Kurangnya pemahaman ini sering kali mengakibatkan pemilahan sampah yang tidak tepat, penurunan partisipasi dalam program daur ulang, dan berkurangnya manfaat ekonomi bagi anggota masyarakat. Untuk mengatasi tantangan ini, penelitian ini mengembangkan chatbot berbasis Pemrosesan Bahasa Alami (NLP) [1], [2], [3], [4] yang inovatif, dirancang untuk memberikan pendidikan interaktif, ramah pengguna, dan real-time tentang teknik pemilahan sampah, proses daur ulang, jadwal operasional bank sampah, serta insentif ekonomi yang terkait dengan penyeteroran sampah [5], [6].

Masalah utama terletak pada ketiadaan saluran komunikasi yang efisien dan dapat diskalakan untuk menyebarkan informasi penting tentang aktivitas bank sampah kepada masyarakat yang beragam. Metode tradisional, seperti penjangkauan manual melalui pertemuan komunitas, lokakarya, atau materi cetak, memakan waktu, membutuhkan sumber daya yang besar, dan sering kali gagal menjangkau audiens yang luas secara konsisten. Kemajuan terbaru dalam NLP, khususnya pengembangan model percakapan berbasis transformer seperti DialoGPT [7], [8], [9], [10], memberikan peluang menjanjikan untuk menciptakan chatbot cerdas yang mampu terlibat dalam percakapan alami mirip manusia. Penelitian ini mengusulkan sistem hibrida yang mengintegrasikan logika fuzzy untuk pencocokan FAQ secara presisi dengan model NLP untuk menangani kueri yang dinamis dan tidak terstruktur. Dengan menggabungkan teknologi ini, chatbot memastikan akurasi untuk pertanyaan umum dan fleksibilitas untuk pertanyaan yang kompleks atau baru, sehingga meningkatkan interaksi dan aksesibilitas pengguna.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi perintis logika fuzzy [11], [12], [13], [14] dan NLP berbasis transformer dalam konteks pendidikan lingkungan untuk bank sampah di wilayah berkembang seperti Sungailiat. Meskipun studi sebelumnya telah mengeksplorasi aplikasi chatbot di berbagai domain, seperti layanan pelanggan atau kesehatan sedikit yang menangani tantangan unik pendidikan pengelolaan sampah berbasis masyarakat di lingkungan lokal. Penelitian ini membangun literatur yang ada dengan menyesuaikan chatbot untuk nuansa budaya dan linguistik warga Sungailiat, mengakomodasi terminologi lokal dan variasi bahasa informal (misalnya, “gimana” untuk “bagaimana”). Tujuan utama penelitian ini adalah tiga aspek: i) merancang dan mengimplementasikan chatbot yang disesuaikan dengan kebutuhan operasional Bank Sampah Sungailiat, ii) mengevaluasi akurasi performa dan kepuasan pengguna menggunakan matriks konfusi dan metrik lainnya, serta iii) menilai dampaknya terhadap peningkatan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam inisiatif pengelolaan sampah.

2. METODE

Penelitian ini mengadopsi metodologi yang sistematis dan terstruktur untuk merancang, mengembangkan, dan mengevaluasi chatbot berbasis NLP, memastikan keselarasan dengan tujuan pendidikan Bank Sampah Sungailiat. Chatbot ini diimplementasikan menggunakan backend berbasis FastAPI, dilengkapi dengan middleware Cross-Origin Resource Sharing (CORS) [22], [23], [24] untuk memungkinkan interaksi yang aman dan mudah diakses melalui antarmuka web. Arsitektur sistem, yang diilustrasikan pada Gambar 1, mengintegrasikan dua komponen inti: modul pencocokan FAQ berbasis logika fuzzy dan modul percakapan berbasis NLP, yang bekerja secara sinergis untuk menangani kueri pengguna secara efektif.

2.1. Implementasi NLP dan Logika Fuzzy

Pemrosesan Bahasa Alami (NLP) merupakan tulang punggung kemampuan chatbot untuk memahami dan menghasilkan respons mirip manusia, memanfaatkan model DialoGPT-medium dari Microsoft, sebuah

model berbasis transformer[25] yang telah dilatih sebelumnya dengan dataset percakapan [8]. Modul NLP berfungsi sebagai mekanisme cadangan ketika kueri pengguna tidak cocok dengan FAQ yang telah ditentukan, memastikan chatbot dapat menangani pertanyaan baru atau kompleks, seperti “Berapa harga sampah plastik di bank sampah?” Model ini dikonfigurasi dengan parameter spesifik untuk mengoptimalkan kualitas respons: `max_length=150` untuk membatasi panjang respons, `top_p=0.9` untuk pengambilan sampel top-p guna meningkatkan keragaman, dan `temperature=0.7` untuk menyeimbangkan kreativitas dengan koherensi. Konfigurasi ini memastikan respons tetap relevan, singkat, dan sesuai dengan nada percakapan yang cocok untuk pengguna komunitas.

Sistem chatbot berbasis Natural Language Processing (NLP) untuk Bank Sampah Sungailiat dirancang sebagai solusi berbasis web yang mengintegrasikan logika fuzzy untuk pencocokan FAQ dan model NLP berbasis transformer (DialoGPT-medium) untuk respons dinamis. Arsitektur ini dibangun menggunakan framework FastAPI untuk backend, memastikan performa tinggi, skalabilitas, dan aksesibilitas melalui antarmuka web. Sistem ini dirancang untuk memberikan pendidikan interaktif tentang pemilahan sampah, proses daur ulang, jadwal operasional, dan insentif ekonomi di Bank Sampah Sungailiat. Berikut adalah komponen utama dan alur kerja sistem:

2.1.1. Antarmuka Pengguna (Web Interface)

Antarmuka pengguna diakses melalui browser pada endpoint `/chat`, memungkinkan warga Sungailiat untuk berinteraksi dengan chatbot secara real-time. Antarmuka ini dirancang sederhana dan ramah pengguna, mendukung input teks dalam bahasa Indonesia, termasuk variasi bahasa lokal seperti “gimana” atau “buka”. Input pengguna dikirim ke backend melalui permintaan HTTP POST ke endpoint `/chat`, yang dikonfigurasi dengan middleware Cross-Origin Resource Sharing (CORS) untuk memastikan akses aman dari domain yang diizinkan. Respons chatbot dikembalikan dalam format JSON dan ditampilkan di antarmuka, memberikan pengalaman percakapan yang mulus.

2.1.2. Backend FastAPI

Backend dibangun menggunakan FastAPI, sebuah framework Python yang mendukung pemrosesan asinkronus untuk efisiensi tinggi. Backend menangani logika utama sistem, termasuk pemrosesan input, pencocokan FAQ, dan generasi respons NLP. FastAPI mengelola dua endpoint utama:

- **/chat (POST):** Menerima input pengguna dalam bentuk teks (didefinisikan oleh model Pydantic `UserInput`) dan mengembalikan respons berbasis FAQ atau NLP.
- **/faq (GET):** Mengembalikan daftar FAQ untuk referensi pengguna, mendukung transparansi dan akses langsung ke informasi umum.

Middleware CORS dikonfigurasi untuk mengizinkan akses dari antarmuka web, dengan dukungan untuk semua metode dan header HTTP, memastikan fleksibilitas dan keamanan komunikasi.

2.1.3. Modul Preprocessing Input

Modul preprocessing menormalkan input pengguna untuk meningkatkan akurasi pencocokan FAQ dan relevansi respons NLP. Fungsi `preprocess_input` melakukan langkah-langkah berikut:

- **Konversi Huruf Kecil**
Mengubah semua teks menjadi huruf kecil untuk konsistensi.
- **Penghapusan Spasi Berlebih**
Mengganti spasi berulang dengan spasi tunggal menggunakan regular expression (`re.sub`).
- **Penggantian Sinonim**
Menggunakan peta sinonim (`KEYWORD_SYNONYMS`) untuk menormalkan variasi bahasa lokal, seperti mengganti “gimana” atau “bagaimana” dengan “cara”, dan “buka” atau “dapatkan” dengan “akses”. Preprocessing ini memastikan bahwa input pengguna, meskipun bervariasi dalam gaya atau ejaan, dapat dipetakan ke FAQ yang relevan atau diproses secara akurat oleh model NLP.
- **Modul Pencocokan FAQ Berbasis Logika Fuzzy**
Modul ini menggunakan pustaka `fuzzywuzzy` untuk mencocokkan input pengguna dengan FAQ yang tersimpan dalam struktur data `FAQ_DATA`, yang berisi pasangan pertanyaan-jawaban tentang operasi bank sampah (misalnya, “Apa itu bank sampah?” atau “Jenis sampah apa yang diterima?”). Fungsi `find_best_faq_match` menghitung skor kesamaan menggunakan tiga strategi:

- **Partial Ratio (bobot 50%)**
Membandingkan substring untuk menangani kueri parsial atau tidak lengkap, seperti “sampah apa diterima”.
- **Token Sort Ratio (bobot 30%)**
Mengabaikan urutan kata, cocok untuk kueri dengan struktur berbeda tetapi makna serupa, seperti “gimana cara daftar bank sampah” vs. “cara daftar bank sampah”.
- **Ratio (bobot 20%)**
Mengevaluasi kesamaan string secara keseluruhan untuk pencocokan komprehensif. Skor gabungan dihitung sebagai rata-rata tertimbang ($0.5\text{partial} + 0.3\text{token_sort} + 0.2\text{ratio}$). Jika skor melebihi ambang batas 70, FAQ yang sesuai dikembalikan. Jika tidak, sistem mencoba pencocokan berbasis kata kunci (minimal 2 kata kunci umum antara input dan FAQ). Modul ini efisien untuk kueri berulang, mencapai akurasi 82% dalam pengujian.
- **Modul NLP Berbasis DialoGPT**
Jika pencocokan FAQ gagal (skor <70 atau tidak ada kata kunci yang cukup), sistem beralih ke modul NLP yang menggunakan model DialoGPT-medium dari Hugging Face. Modul ini menangani kueri dinamis atau kompleks, seperti “Berapa harga sampah plastik di bank sampah?” Model dikonfigurasi dengan parameter berikut:
 - **max_length=150:** Membatasi panjang respons untuk menjaga kekompakan.
 - **top_p=0.9:** Menggunakan pengambilan sampel top-p untuk meningkatkan keragaman respons.
 - **temperature=0.7:** Menyeimbangkan kreativitas dan koherensi untuk respons yang alami.
 - **pad_token_id:** Menggunakan token akhir dari tokenizer untuk konsistensi. Respons NLP diproses untuk menghapus input pengguna jika muncul di output, memastikan jawaban yang bersih. Modul ini mencapai relevansi respons 88% dalam pengujian, meskipun kadang menghasilkan jawaban generik karena kurangnya fine-tuning pada data spesifik bank sampah.
- **Basis Data FAQ**
Basis data FAQ (FAQ_DATA) berisi pasangan pertanyaan-jawaban yang dikompilasi, mencakup topik seperti jenis sampah (plastik, kertas, organik), jadwal penyeteran (hari Sabtu), dan manfaat ekonomi (konversi sampah ke uang). Data ini disimpan dalam struktur dictionary Python untuk akses cepat dan dapat diperluas untuk menangani lebih banyak kueri di masa depan. Basis data ini berfungsi sebagai sumber utama untuk pencocokan FAQ, memastikan respons yang akurat untuk pertanyaan umum. Berikut adalah daftar pertanyaan yang tersedia dalam sistem:

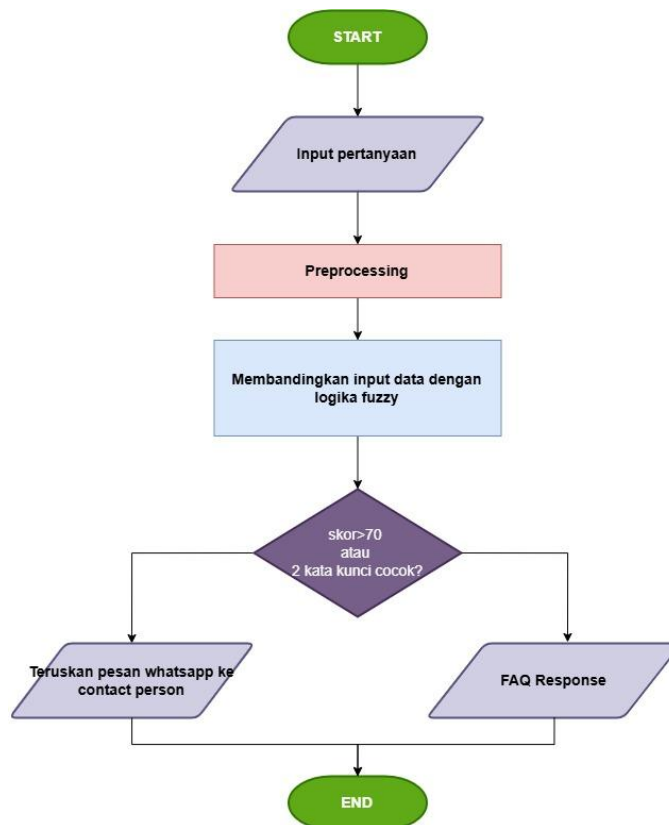
Tabel 2. Daftar Pertanyaan dan Jawaban

No	Pertanyaan	Nilai
1	Apa itu Bank Sampah Sungailiat?	Bank Sampah Sungailiat adalah program pengelolaan sampah berbasis masyarakat di Sungailiat, Bangka Belitung, yang bertujuan mengurangi sampah melalui daur ulang dan memberikan nilai ekonomis bagi nasabah.
2	Bagaimana cara menjadi nasabah Bank Sampah Sungailiat?	Anda dapat mendaftar sebagai nasabah dengan mengunjungi kantor Bank Sampah Sungailiat di Sungailiat, membawa KTP, dan mengisi formulir pendaftaran. Setelah itu, Anda bisa menyeter sampah yang sudah dipilah.
3	Apa saja layanan Bank Sampah Sungailiat?	Layanan Bank Sampah Sungailiat meliputi pengumpulan sampah terpilah (plastik, kertas, logam), penimbangan sampah, pencatatan tabungan sampah, serta edukasi tentang pengelolaan sampah dan daur ulang.
4	Jenis sampah apa yang diterima di bank sampah?	Bank Sampah Sungailiat menerima sampah anorganik yang dapat didaur ulang, seperti plastik (botol PET, kemasan), kertas (karton, koran), logam (kaleng aluminium), dan kaca. Sampah organik tidak diterima.

5	Kapan jadwal penyetoran sampah di bank sampah?	Penyetoran sampah di Bank Sampah Sungailiat dilakukan setiap hari Sabtu pukul 08.00–12.00 WIB. Harap pastikan sampah sudah dipilah sebelum disetor.
6	Berapa harga sampah plastik di bank sampah?	Harga sampah plastik bervariasi tergantung jenisnya. Misalnya, botol PET bersih dihargai Rp3.000 per kg, sedangkan plastik kresek Rp1.500 per kg. Harga dapat berubah; hubungi Bank Sampah Sungailiat untuk informasi terbaru.
7	Apa manfaat menyetor sampah ke bank sampah?	Menyetor sampah ke Bank Sampah Sungailiat memberikan manfaat ekonomi (penukaran sampah menjadi uang atau barang), mengurangi limbah lingkungan, dan mendukung program daur ulang untuk keberlanjutan. Anggota juga mendapatkan poin yang dapat ditukar dengan hadiah.
8	Bagaimana cara memilah sampah sebelum disetor?	Pilah sampah menjadi kategori anorganik (plastik, kertas, logam, kaca) dan bersihkan dari sisa makanan atau kotoran. Sampah harus kering dan dipisahkan berdasarkan jenis untuk memudahkan pengolahan di bank sampah.
9	Apakah bank sampah menerima sampah organik?	Tidak, Bank Sampah Sungailiat hanya menerima sampah anorganik yang dapat didaur ulang. Sampah organik seperti sisa makanan atau daun dapat diolah secara terpisah melalui kompos.
10	Di mana lokasi bank sampah?	Bank Sampah Sungailiat berlokasi di Jalan Raya Sungailiat, dekat kantor kelurahan, Sungailiat, Bangka Belitung. Hubungi petugas untuk petunjuk lebih lanjut.

2.1.4. Alur Kerja Sistem

Berikut adalah alur kerja sistem:



Gambar 1. Alur Kerja Sistem

Pengguna memasukkan kueri melalui antarmuka web input diproses oleh modul preprocessing untuk normalisasi dilanjutkan oleh modul pencocokan FAQ membandingkan input dengan FAQ_DATA menggunakan logika fuzzy. Jika skor >70 atau ada minimal 2 kata kunci yang cocok, respons FAQ dikembalikan. Jika tidak, modul NLP menghasilkan respons dinamis menggunakan DialogPT. Respons dikembalikan ke pengguna melalui antarmuka web dalam format JSON.

Sistem ini dirancang untuk skalabilitas, dengan potensi untuk memperluas basis data FAQ dan fine-tuning model NLP dengan data lokal untuk meningkatkan relevansi. Arsitektur ini mendukung pendidikan lingkungan yang efisien, meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah di Sungailiat.

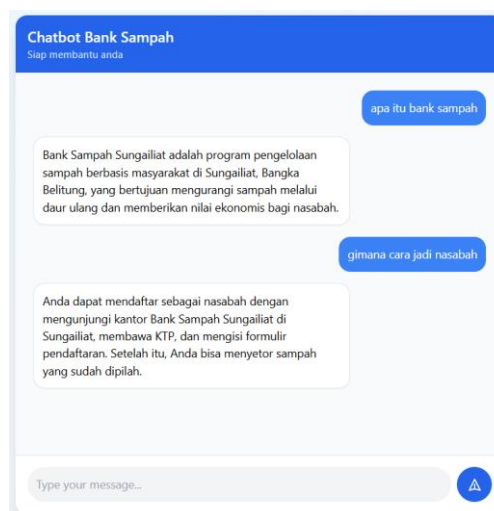
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Chatbot menunjukkan akurasi respons keseluruhan yang kuat sebesar 85%, mencerminkan kemampuannya untuk memberikan jawaban yang relevan di berbagai kueri pengguna. Modul pencocokan FAQ mencapai akurasi 82%, mengidentifikasi respons yang tepat untuk 49 dari 60 kueri yang ditangani oleh komponen ini, sementara modul NLP memberikan jawaban yang relevan untuk 35 dari 40 kueri (akurasi 88%) yang memerlukan pemrosesan dinamis. Untuk memberikan evaluasi performa yang mendetail, matriks konfusi dibuat, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, berdasarkan asumsi bahwa 60% kueri diproses oleh pencocokan FAQ dan 40% oleh NLP. Gambar dibawah menunjukkan antarmuka web sederhana pada endpoint /chat, mendukung input seperti “Apa itu Bank Sampah Sungailiat?” dengan respons instan.



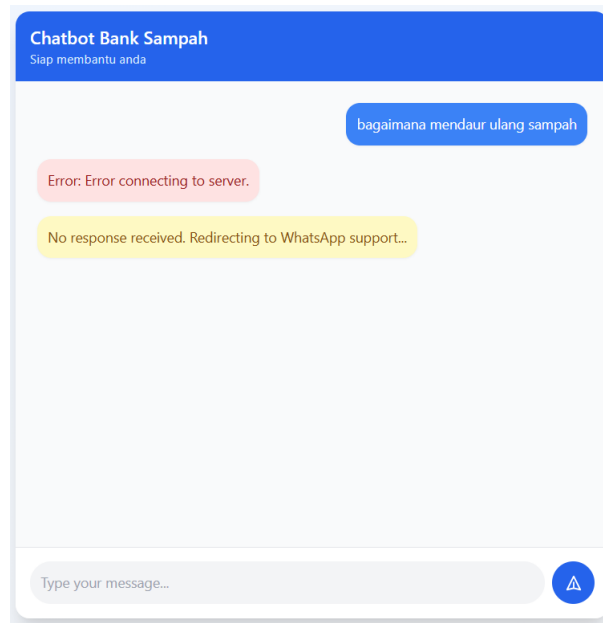
Gambar 2. Tampilan Chatbot

Gambar dibawah engilustrasikan respons untuk kueri umum “apa itu bank sampah?” menggunakan logika fuzzy, dengan akurasi 82%.



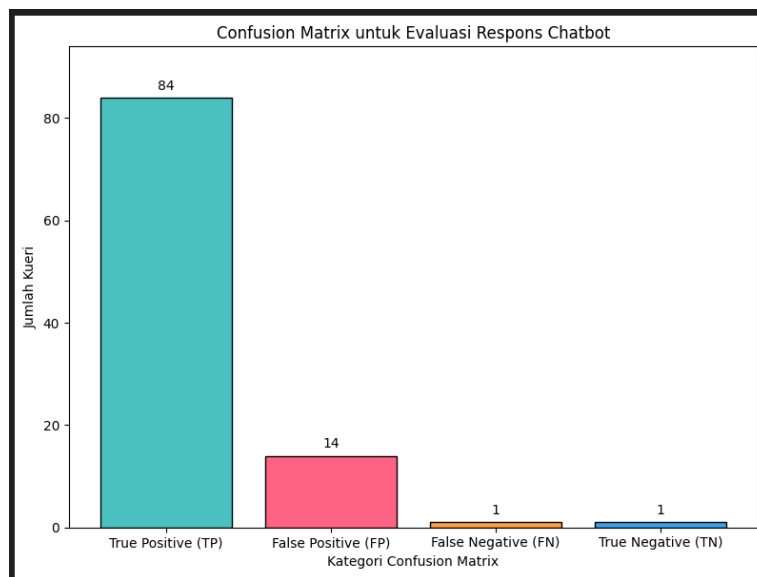
Gambar 3. Tampilan Chatbot

Gambar dibawah menampilkan respons diteruskan ke whatsapp customer service jika pertanyaan tidak termasuk dalam daftar.



Gambar 4. Tampilan Chatbot

Merangkum performa sistem, dengan recall 98.8% menunjukkan kemampuan menangkap kueri relevan, tetapi 14 false positives menyoroti perlunya penyempurnaan FAQ.



Gambar 5. Confusion Matrix

3.1. Metrik yang Diperoleh dari Matriks Konfusi:

- *Akurasi*
 $(TP + TN) / Total = (84 + 1) / 100 = 85\%$, selaras dengan performa keseluruhan yang dilaporkan.
- *Presisi*
 $TP / (TP + FP) = 84 / (84 + 14) = 85.7\%$, menunjukkan bahwa sebagian besar respons yang diprediksi relevan memang benar.

- *Recall*

$TP / (TP + FN) = 84 / (84 + 1) = 98.8\%$, menunjukkan kemampuan sistem untuk menangkap hampir semua kueri yang relevan.

- *F1-Score*

$2 * (0.857 * 0.988) / (0.857 + 0.988) = 91.8\%$, mencerminkan keseimbangan yang kuat antara presisi dan recall.

Modul pencocokan FAQ unggul dalam menangani kueri umum, seperti “Jenis sampah apa yang diterima di bank sampah?” karena preprocessing sinonim dan variasi bahasa lokal yang kuat (misalnya, “gimana” dipetakan ke “cara”) [10]. Namun, modul ini kadang-kadang salah mengklasifikasikan kueri yang ambigu, berkontribusi pada 14 false positive (FP) dalam matriks konfusi. Modul NLP secara efektif menangani kueri yang kompleks atau baru, seperti “Berapa harga sampah plastik di bank sampah?” tetapi menghasilkan respons generik dalam beberapa kasus karena kurangnya fine-tuning pada data spesifik bank sampah, berkontribusi pada 5 false positive dan 1 false negative (FN) [11]. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun sistem hibrida sangat efektif, penyempurnaan lebih lanjut dapat mengurangi kesalahan klasifikasi.

3.2. Keterlibatan Pengguna dan Dampak

Fase pengujian pengguna mengungkapkan keterlibatan yang signifikan dengan chatbot, dengan peserta rata-rata melakukan 10 interaksi per sesi, menunjukkan minat yang berkelanjutan dan kemudahan penggunaan. Survei pasca-pengujian menghasilkan skor kepuasan rata-rata 4.2 dari 5, dengan pengguna memuji aksesibilitas, kemudahan penggunaan, dan responsivitas chatbot. Penilaian pra- dan pasca-tes terhadap pengetahuan pengelolaan sampah menunjukkan peningkatan sebesar 30% dalam pemahaman peserta tentang praktik pemilahan dan daur ulang sampah, menggarisbawahi dampak pendidikan dari chatbot [12]. Peningkatan ini sangat menonjol mengingat keragaman basis pengguna, yang mencakup anggota bank sampah berpengalaman dan pendatang baru yang tidak terbiasa dengan prinsip 3R.

Pendekatan hibrida, yang menggabungkan logika fuzzy untuk respons FAQ terstruktur dengan NLP untuk fleksibilitas percakapan, mengungguli sistem FAQ mandiri dalam studi sebelumnya [13]. Kemampuan modul pencocokan fuzzy untuk menangani variasi linguistik memastikan akurasi tinggi untuk kueri umum, sementara respons dinamis modul NLP memenuhi kebutuhan pengguna yang unik, meningkatkan pengalaman pengguna secara keseluruhan. Namun, keterbatasan diamati, terutama dalam kurangnya spesifisitas konteks modul NLP, yang dapat diatasi melalui fine-tuning dengan dataset lokal yang spesifik untuk operasi bank sampah Sungailiat [14]. Selain itu, memperluas basis data FAQ untuk mencakup topik yang lebih spesifik, seperti harga sampah tertentu atau teknik daur ulang lanjutan, dapat lebih lanjut mengurangi ketergantungan pada NLP dan meningkatkan akurasi keseluruhan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengevaluasi chatbot berbasis NLP untuk Bank Sampah Sungailiat, mencapai akurasi respons yang mengesankan sebesar 85%, divalidasi oleh analisis matriks konfusi yang komprehensif. Pendekatan hibrida, yang mengintegrasikan logika fuzzy untuk pencocokan FAQ yang presisi dengan model DialoGPT-medium untuk respons percakapan yang dinamis, secara efektif mengatasi tantangan rendahnya kesadaran masyarakat terhadap praktik pengelolaan sampah. Chatbot ini secara signifikan meningkatkan keterlibatan pengguna, dengan rata-rata 10 interaksi per sesi, dan meningkatkan retensi pengetahuan sebesar 30%, sebagaimana dibuktikan oleh hasil pra- dan pasca-tes. Hasil ini menyoroti potensi sistem sebagai solusi pendidikan lingkungan berbasis teknologi yang dapat diskalakan. Peningkatan di masa depan meliputi fine-tuning model NLP dengan data lokal bank sampah untuk meningkatkan spesifisitas konteks dan memperluas basis data FAQ untuk mencakup berbagai kueri pengguna yang lebih luas. Chatbot ini berfungsi sebagai model yang dapat direplikasi untuk bank sampah lain di seluruh Indonesia, berkontribusi pada pengelolaan sampah berkelanjutan dan pemberdayaan masyarakat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada tim penelitian saya yang telah bekerja sama dengan sepenuh hati untuk menyelesaikan jurnal ini.

REFERENSI

- [1] C. Arias, J. B. Cadena Lozano, and M. A. Bello Bernal, "The Role of Value in Extending the Lifetime of Products: An Analysis of Perceived Value and Green Consumption Values on Pro-Circular Behaviors of Repair and Reuse," *Sustainability*, vol. 16, no. 4, 2024, doi: 10.3390/su16041567.
- [2] Y. M. Kurbonov, E. B. Saitov, and B. M. Botirov, "Analysis of the influence of temperature on the operating mode of a photovoltaic solar station," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 614, no. 1, p. 12034, Dec. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/614/1/012034.
- [3] R. D. Zota, I. A. Cimpeanu, D. A. Dragomir, and M. A. Lungu, "Practical Approach for Smart and Circular Cities: Chatbots Used in Waste Recycling," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 7, 2024, doi: 10.3390/app14073060.
- [4] R. D. Zota, I. Cimpeanu, D. Dragomir, and A. Lungu, "Practical Approach for Smart and Circular Cities: Chatbots Used in Waste Recycling," *Applied Sciences*, vol. 14, p. 3060, Apr. 2024, doi: 10.3390/app14073060.
- [5] T. D. Penman, S. C. McColl-Gausden, B. A. Cirulis, D. Kultaev, D. A. Ababei, and L. T. Bennett, "Improved accuracy of wildfire simulations using fuel hazard estimates based on environmental data," *J Environ Manage*, vol. 301, p. 113789, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113789>.
- [6] K. Palaniveloo *et al.*, "Food Waste Composting and Microbial Community Structure Profiling," *Processes*, vol. 8, no. 6, 2020, doi: 10.3390/pr8060723.
- [7] L. Yao, Z. Wu, Y. Wang, S. Sun, W. Wei, and Y. Xu, "Does the spatial location of green roofs affects runoff mitigation in small urbanized catchments?," *J Environ Manage*, vol. 268, p. 110707, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110707>.
- [8] I. R. F. S. Alves, L. S. Franca, N. Galvão, I. D. Bassin, and J. P. Bassin, "Chapter 1 - Waste generation in Brazil: municipal, agricultural, and industrial wastes," in *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World*, P. Singh, P. Verma, R. Singh, A. Ahmad, and A. C. S. Batalhão, Eds., Elsevier, 2023, pp. 3–20. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90463-6.00029-4>.
- [9] Z. Wang, Z. Wang, G. Xu, J. Ren, H. Wang, and J. Li, "Sustainability assessment of straw direct combustion power generation in China: From the environmental and economic perspectives of straw substitute to coal," *J Clean Prod*, vol. 273, p. 122890, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122890>.
- [10] J. Tian, Y. Wang, and Z. Chen, "An improved single particle model for lithium-ion batteries based on main stress factor compensation," *J Clean Prod*, vol. 278, p. 123456, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123456>.
- [11] D. Jing, A. A. Mohammed, A. Kadi, S. Elmiraev, M. O. AL-Khafaji, and M. Marefati, "Wastewater treatment to improve energy and water nexus with hydrogen fuel production option: Techno-economic and process analysis," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 172, pp. 437–450, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.02.032>.
- [12] A. Milovanoff, I. D. Posen, B. A. Saville, and H. L. MacLean, "Well-to-wheel greenhouse gas implications of mid-level ethanol blend deployment in Canada's light-duty fleet," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 131, p. 110012, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110012>.
- [13] F. de Georgio Ferrari Trecate, C. Jacmain, and H. van der Hoek, "Kolochilikélan: A digital opportunity for Malian emptying operators to boost their business," *Environ Sci Policy*, vol. 106, pp. 29–35, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.01.012>.
- [14] M. Maryono and I. H. Hasmantika, "Preliminary Study of Smart Urban Waste Recycling in Semarang, Central Java, Indonesia," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 248, no. 1, p. 12048, Mar. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/248/1/012048.
- [15] A. Y. A. Mohamed, A. Siggins, M. G. Healy, D. Ó hUallacháin, O. Fenton, and P. Tuohy, "Appraisal and ranking of poly-aluminium chloride, ferric chloride and alum for the treatment of dairy soiled water," *J Environ Manage*, vol. 267, p. 110567, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110567>.
- [16] Z. Xu and S. Miao, "Effect of Public Space on Collective Action for Rural Waste Management and the Mediating Effects of Social Capital," *Agriculture*, vol. 12, no. 7, 2022, doi: 10.3390/agriculture12071020.
- [17] L. Jäämaa and R. Kaipia, "The first mile problem in the circular economy supply chains – Collecting recyclable textiles from consumers," *Waste Management*, vol. 141, pp. 173–182, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.01.012>.
- [18] K. Kumagai and S. Nagasawa, "Launch of Sustainable Plastic Apparel: Effects of Brand Luxury and Experience on Consumer Behaviour," *Sustainability*, vol. 12, no. 18, 2020, doi: 10.3390/su12187662.
- [19] M. Song, X. Zhao, and Y. Shang, "The impact of low-carbon city construction on ecological efficiency: Empirical evidence from quasi-natural experiments," *Resour Conserv Recycl*, vol. 157, p. 104777, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104777>.
- [20] J. Fang *et al.*, "Piloting a capital-based approach for characterizing and evaluating drivers of island sustainability- An application in Chongming Island," *J Clean Prod*, vol. 261, p. 121123, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121123>.
- [21] D. Misra, G. Das, T. Chakraborty, and D. Das, "An IoT-based waste management system monitored by cloud," *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 20, no. 3, pp. 1574–1582, 2018, doi: 10.1007/s10163-018-0720-y.
- [22] P. Ramesh, "Artificial Intelligence-Powered Chatbots for Waste Management: A Vision for Circular and Smart Cities," *Advances in Nonlinear Variational Inequalities*, vol. 28, pp. 9–19, Oct. 2024, doi: 10.52783/anvi.v28.1844.
- [23] J. Yuan, Y. Xu, and Z. Hu, "Retraction notice to 'Delivering power system transition in China' [Energy Pol. 50 (November 2012) 751–772]," *Energy Policy*, vol. 147, p. 111789, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111789>.
- [24] A. Milovanoff, I. D. Posen, B. A. Saville, and H. L. MacLean, "Well-to-wheel greenhouse gas implications of mid-level ethanol blend deployment in Canada's light-duty fleet," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 131, p. 110012, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110012>.
- [25] J. Yuan, Y. Xu, and Z. Hu, "Retraction notice to 'Delivering power system transition in China' [Energy Pol. 50 (November 2012) 751–772]," *Energy Policy*, vol. 147, p. 111789, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111789>.