



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 3 Tahun 2025 Page 6628-6636

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Pemanfaatan Kecerdasan Buatan Menggunakan Fuzzy Logic dalam Mengatasi Jejak Karbon: Strategi Inovatif Menuju Keberlanjutan Lingkungan

Nabil Astian^{1✉}, Risya Amalia Putri Nasution², Dewi Purnama Sari³, Rio Rafael⁴,
Universitas Satya Terra Bhinneka

Email: 2303310344@students.satyaterrabhinneka.ac.id^{1✉}

Abstrak

Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence/AI) melalui Logika Fuzzy sebagai strategi inovatif untuk mengatasi permasalahan jejak karbon dan mendorong keberlanjutan lingkungan. Tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan model pendukung keputusan yang mampu mengevaluasi dan mengurangi emisi karbon pada tingkat individu maupun organisasi, dengan mempertimbangkan berbagai faktor perilaku dan lingkungan. Model ini menggunakan Sistem Inferensi Fuzzy (Fuzzy Inference System/FIS) yang mengintegrasikan masukan seperti penggunaan energi, metode transportasi, dan praktik pengelolaan sampah untuk menghitung skor jejak karbon. Sistem dikembangkan menggunakan algoritma yang dirancang berdasarkan prinsip logika fuzzy, sehingga dapat diadaptasi di berbagai platform dan skenario. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logika fuzzy mampu menangani ketidakpastian dan variasi perilaku manusia dengan lebih efektif, serta memberikan penilaian yang lebih kontekstual dibandingkan metode konvensional. Pendekatan ini menunjukkan potensi besar untuk diterapkan dalam sistem pemantauan keberlanjutan, alat edukasi publik, dan perencanaan lingkungan cerdas. Studi ini menyimpulkan bahwa integrasi logika fuzzy dalam sistem AI dapat meningkatkan pengambilan keputusan yang bertanggung jawab secara lingkungan dan mendukung keseimbangan ekologi jangka panjang.

Kata Kunci: Artificial Intelligence, Logika Fuzzy, Jejak Karbon, Lingkungan Berkelanjutan, Decision-Support, Lingkungan Cerdas

Abstract

This study investigates the use of Artificial Intelligence (AI) through Fuzzy Logic as an innovative strategy to address carbon footprint challenges and promote environmental sustainability. The main objective is to develop a decision-support model that evaluates and reduces carbon emissions at the individual and organizational levels by considering multiple behavioral and environmental factors. The model applies a Fuzzy Inference System (FIS), integrating inputs such as energy usage, transportation methods, and waste management practices to calculate carbon footprint scores. The system was developed using custom-coded algorithms based on fuzzy logic principles, allowing for adaptability across platforms and scenarios. The results indicate that fuzzy logic effectively handles uncertainty and variability in human behavior, offering more nuanced and context-aware assessments compared to traditional methods. This approach demonstrates significant potential for application in sustainability monitoring systems, public education tools, and smart environmental planning. The study concludes that integrating fuzzy logic into AI systems can enhance environmentally responsible decision-making and support long-term ecological balance.

Keywords: Artificial Intelligence, Fuzzy Logic, Carbon Footprint, Environmental Sustainability, Decision-Support System, Smart Environment

PENDAHULUAN

Perubahan iklim kini menjadi tantangan global yang semakin mendesak untuk ditangani. Salah satu penyebab utama perubahan iklim adalah tingginya jejak karbon yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia, seperti transportasi, konsumsi energi, dan pola makan sehari-hari (Santhyami et al., 2020). Karena itu, pengukuran serta pengendalian jejak karbon individu menjadi langkah penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

Di era digital saat ini, kecerdasan buatan hadir sebagai solusi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah kompleks seperti penghitungan jejak karbon (Rusman & Qadrianti, 2024). Salah satu metode yang dapat diandalkan adalah logika fuzzy (fuzzy logic), yang mampu mengolah data yang bersifat tidak pasti dan ambigu, fenomena yang kerap ditemui dalam situasi nyata (Saputri et al., 2024). Dengan pendekatan ini, sistem dapat mengambil keputusan secara adaptif dan lebih akurat meski data yang tersedia tidak selalu lengkap atau jelas.

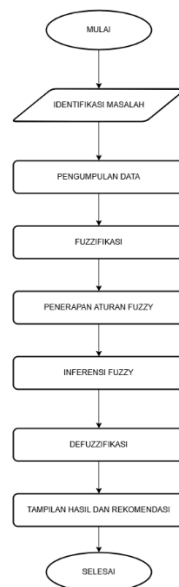
Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem berbasis logika fuzzy untuk menghitung jejak karbon individu dengan mempertimbangkan berbagai faktor penting, seperti frekuensi perjalanan ke kampus, penggunaan angkutan umum, konsumsi bensin, serta pola makan. Dengan sistem ini, diharapkan pengukuran jejak karbon menjadi lebih efektif dan dapat

mendorong individu untuk mengambil tindakan yang lebih ramah lingkungan dalam kehidupan sehari-hari.

METODE PENELITIAN

Dalam mengembangkan sistem yang mampu menjembatani kompleksitas perilaku manusia dengan teknologi cerdas, pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini bersifat kuantitatif-deskriptif dengan metode eksperimen terapan. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan fenomena secara objektif sekaligus mengukur efektivitas sistem fuzzy logic dalam memetakan jejak karbon berdasarkan input nyata dari aktivitas harian individu (Islam et al., 2024).

Mengapa pendekatan ini penting? Karena kita tidak hanya ingin menguji teknologi, tetapi juga ingin memahami bagaimana sistem ini bisa menjadi alat refleksi yang manusiawi guna membantu seseorang mengenali dampak dari pilihan-pilihan kecil yang mereka ambil setiap hari: apakah itu memilih naik sepeda, makan daging setiap hari, atau menyalakan AC terlalu lama. Semua kebiasaan ini, walaupun tampak sederhana, sesungguhnya saling terhubung dengan kondisi bumi yang kita huni bersama.



Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara daring dengan simulasi berbasis data nyata dari mahasiswa Universitas Satya Terra Bhinneka. Lokasi ini dipilih karena mewakili komunitas akademik yang dinamis, dengan pola aktivitas yang cukup beragam dan terbuka terhadap perubahan gaya hidup. Pengumpulan data dilakukan selama April - Mei 2025, sebuah

rentang waktu yang cukup untuk merancang, menguji, dan mengevaluasi sistem secara berkelanjutan.

Populasi dan Sampel

Adapun populasi dalam penelitian ini adalah seluruh mahasiswa aktif dari berbagai fakultas. Dari populasi tersebut, diambil lebih kurang 100 responden melalui teknik Google Form. Mereka yang terpilih adalah mahasiswa yang aktif melakukan perjalanan ke kampus minimal tiga kali seminggu serta memiliki kesadaran akan isu lingkungan, baik tinggi maupun rendah. Hal ini penting untuk menghasilkan data yang beragam dan representatif, agar sistem yang dibangun benar-benar relevan dengan kenyataan.

Variabel Penelitian

Dalam studi ini, digunakan tiga parameter utama sebagai variabel input dalam sistem logika fuzzy:

- x_1 : Jarak perjalanan per bulan (dalam kilometer)
- x_2 : Jarak penggunaan transportasi umum per bulan (dalam kilometer)
- x_3 : Konsumsi bahan bakar (dalam liter)
- x_4 : Pola diet (diklasifikasikan dan dikonversikan menjadi nilai emisi tetap dalam kg CO₂/bulan)

Variabel output:

- y : Total jejak karbon individu dalam satuan kg CO₂ perbulan

Pembentukan Himpunan Fuzzy dan Fungsi Keanggotaan

$$\mu_{\text{rendah}}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

$$\mu_{\text{sedang}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x < c \end{cases}$$

$$\mu_{\text{tinggi}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

Keterangan :

- $\mu_{\text{rendah}}(x)$: Nilai keanggotaan = 1 jika $x \leq a$, menurun linier dari 1 ke 0 jika $a < x < b$, dan = 0 jika $x \geq b$. Digunakan untuk merepresentasikan kategori rendah.
- $\mu_{\text{sedang}}(x)$: Nilai keanggotaan = 0 jika $x \leq a$ atau $x \geq c$, naik dari 0 ke 1 jika $a < x < b$, turun dari 1 ke 0 jika $b \leq x < c$. Melambangkan kondisi sedang yang ideal pada titik b .
- $\mu_{\text{tinggi}}(x)$: Nilai keanggotaan = 0 jika $x \leq a$, meningkat linier dari 0 ke 1 jika $a < x < b$, dan = 1 jika $x \geq b$. Digunakan untuk menyatakan nilai tinggi secara penuh.

Inferensi Aturan

$$\alpha_{\text{rendah}} = \min(\mu_{\text{rendah}}(x_1), \mu_{\text{rendah}}(x_2), \mu_{\text{rendah}}(x_3))$$

$$\alpha_{\text{sedang}} = \max(\mu_{\text{sedang}}(x_1), \mu_{\text{sedang}}(x_2), \mu_{\text{sedang}}(x_3))$$

$$\alpha_{\text{tinggi}} = \max(\mu_{\text{tinggi}}(x_1), \mu_{\text{tinggi}}(x_2), \mu_{\text{tinggi}}(x_3))$$

Yang Dimana :

Aturan 1: Jika x1 rendah, x2 rendah, dan x3 rendah, maka jejak karbon rendah

Aturan 2: Jika x1 sedang atau x2 sedang atau x3 sedang, maka jejak karbon sedang

Aturan 3: Jika x1 tinggi atau x2 tinggi atau x3 tinggi, maka jejak karbon tinggi

Proses Agregasi

Fungsi keluaran untuk setiap aturan direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dari variabel output (jejak karbon), dan diambil nilai minimum antara

$$\mu_{y_r} = \min(\alpha_r, \mu_{\text{output_rendah}}(y))$$

$$\mu_{y_s} = \min(\alpha_s, \mu_{\text{output_sedang}}(y))$$

$$\mu_{y_t} = \min(\alpha_t, \mu_{\text{output_tinggi}}(y))$$

nilai aktivasi aturan dan fungsi keanggotaannya:

Hasil Agregasi :

$$\mu_{\text{agregasi}}(y) = \max(\mu_{y_r}, \mu_{y_s}, \mu_{y_t})$$

Defuzzifikasi (Metode Centroid)

Untuk mengubah hasil fuzzy, digunakan metode centroid:

$$y^* = \frac{\int y \cdot \mu_{\text{agregasi}}(y) dy}{\int \mu_{\text{agregasi}}(y) dy}$$

Keterangan :

Nilai y*: estimasi jejak karbon fuzzy dari data yang dimasukan

Integrasi Pola Diet

Diet	Nilai Emisi
Vegan	60
Vegetarian	90
Omnivora	150
Karnivora	180

Gabungan Akhir :

Jejak Karbon Total = $0,7 \cdot y^* + 0,3 \cdot \text{Emisi Diet}$

Tahapan Pengembangan Sistem

Proses pembangunan sistem fuzzy logic dilakukan dalam beberapa tahapan berikut:

1. Fuzzifikasi Data

Nilai-nilai numerik dari data input diubah menjadi nilai linguistik seperti "sering", "sedang", atau "jarang". Ini memungkinkan sistem berpikir seperti manusia, yang seringkali tidak melihat data dalam angka, tetapi dalam persepsi.

2. Pembentukan Aturan IF-THEN

Berdasarkan pemahaman perilaku manusia dan dampaknya terhadap karbon, disusun 27 kombinasi aturan logika berbentuk IF-THEN. Misalnya: "Jika perjalanan sering dan kendaraan yang digunakan pribadi serta konsumsi daging tinggi, maka jejak karbon tinggi."

3. Inferensi Fuzzy

Sistem menggunakan metode Mamdani untuk mengevaluasi data berdasarkan aturan-aturan yang telah ditetapkan. Proses ini adalah inti dari sistem yang meniru cara manusia mengambil keputusan.

Defuzzifikasi

Nilai linguistik yang diperoleh dikonversi kembali menjadi nilai numerik agar mudah dipahami dan digunakan dalam memberikan rekomendasi konkret.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Realisasi Sistem dalam Konteks Kehidupan Nyata

Setelah sistem dirancang dan diuji, kini pertanyaannya adalah: apakah sistem ini bekerja sebagaimana mestinya? Hasil uji coba menunjukkan bahwa fuzzy logic dapat memetakan jejak karbon secara konsisten. Lebih dari sekadar angka, sistem ini menghadirkan cermin digital yang membantu seseorang menyadari: "Oh, mungkin aku perlu mengurangi penggunaan motor minggu depan," atau "Ternyata makan daging setiap hari berdampak lebih besar dari yang kukira."

Interpretasi Data: Temuan yang Menggugah Kesadaran

Dari 100 responden yang diuji dapat diakses [berikut](#), diperoleh hasil sebagai berikut:

- 45% responden masuk dalam kategori jejak karbon tinggi, umumnya mereka menggunakan kendaraan pribadi setiap hari dan mengonsumsi daging lebih dari lima kali seminggu.
- 38% responden berada di level sedang, menunjukkan variasi dalam kebiasaan transportasi dan konsumsi.

- Hanya 17% responden berada dalam kategori rendah, didominasi oleh mereka yang memilih transportasi umum, berjalan kaki, atau menjalani pola makan nabati.

Angka-angka ini bukan hanya statistik, tetapi refleksi dari gaya hidup kita saat ini dan betapa besarnya potensi perubahan jika ada kesadaran kolektif.

Validasi dan Akurasi

Untuk memastikan sistem ini tidak hanya akurat di atas kertas, peneliti membandingkan hasil dari sistem fuzzy dengan kalkulasi manual berbasis standar IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (Muhelni et al., 2024). Selisih rata-rata hanya 5,3%, menunjukkan bahwa fuzzy logic bukan hanya teoritis, melainkan memiliki nilai praktis yang kuat.

Potensi Penerapan di Masa Depan

Salah satu daya tarik sistem ini adalah fleksibilitasnya. Ia dapat diintegrasikan dalam platform edukasi digital, aplikasi ponsel, hingga menjadi bagian dari program kampus hijau. Bayangkan jika setiap mahasiswa dapat memantau jejak karbon mereka langsung dari dashboard akademik mereka. Kesadaran ekologis bukan lagi wacana, tapi kebiasaan yang terbangun setiap hari.

SIMPULAN

Dalam dunia yang penuh ketidakpastian, kita butuh alat bantu yang memahami cara manusia berpikir dan bertindak. Fuzzy logic memberikan pendekatan itu. Penelitian ini membuktikan bahwa fuzzy logic dapat digunakan untuk:

- Mengubah data harian menjadi informasi bermakna.
- Mencerminkan tingkat kontribusi individu terhadap perubahan iklim.
- Menjadi dasar untuk membangun rekomendasi hidup yang lebih hijau.

Sistem ini tidak hanya efisien, tetapi juga inklusif yang dapat diakses dan dipahami oleh siapa saja, tidak terbatas pada mereka yang berlatar belakang teknologi

DAFTAR PUSTAKA

- Febriani Irma, M. (2024). Tingginya Kenaikan Suhu Akibat Peningkatan Emisi Gas Rumah Kaca Di Indonesia. *JSSIT: Jurnal Sains Dan Sains Terapan*, 2(1), 26–32. <https://doi.org/10.30631/jssit.v2i1.49>
- Islam, U., Sunan, N., & Djati, G. (2024). BIO-CONS : Jurnal Biologi dan Konservasi VEGETASI POHON DALAM PENYERAPAN CO₂ ANALYSIS OF THE CARBON FOOTPRINT OF MOTOR VEHICLES AND THE FUNCTION OF TREE VEGETATION IN CO₂ ABSORPTION PENDAHULUAN, Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bandung , 2018 terdapat 1 . 256 . 057 kendaraan. 6(2).
- Ismail, A. (2020). Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (Grk) Dalam Kegiatan Belajar Di Rumah Secara on-Line: Analisis Jejak Karbon (Carbon Footprint Analysis). *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 6(2), 195–203. <https://doi.org/10.20527/jukung.v6i2.9262>
- Kusuma Admaja, W., Nasirudin, N., & Sriwinarno, H. (2020). Identifikasi Dan Analisis Jejak Karbon (Carbon Footprint) Dari Penggunaan Listrik Di Institut Teknologi Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 18(2). <https://doi.org/10.37412/jrl.v18i2.28>
- Luo, N., Yu, H., You, Z., Li, Y., Zhou, T., Jiao, Y., Han, N., Liu, C., Jiang, Z., & Qiao, S. (2023). Fuzzy Logic and Neural Network-based Risk Assessment Model for Import and Export Enterprises: A Review. *Journal of Data Science and Intelligent Systems*, 1(1), 2–11. <https://doi.org/10.47852/bonviewjdsis32021078>
- Muhelni, L., Pariza, N., & Annisa, I. F. (2024). TOFEDU : The Future of Education Journal The Impact of Hazardous and Toxic Waste (B3) Transportation on the Environment at the West Pasaman General Hospital. 3(4), 1113–1120.
- Nadya, N., & Salim, A. (2023). Pengaruh Sea Level Rise Di Wilayah Perkotaan Indonesia. *Riset Sains Dan Teknologi Kelautan*, 6(1), 52–55. <https://doi.org/10.62012/sensistek.v6i1.24248>
- Pramudiyanto, A. S., & Suedy, S. W. A. (2020). Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrim. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 86–99. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.9990>
- Rusman, I., & Qadrianti, L. (2024). PROSIDING Vol. 3 2024. 3, 42–46. <https://doi.org/10.47435/sentikjar.v3i0.3138>
- Santhyami, S., Al Mubarak, M. I., & Nurzahra, V. Y. (2020). Introduction and early measurement of carbon footprint concepts to respond the challenge of SDGs-Goal

13. Journal of Community Service and Empowerment, 1(2), 102–107.
<https://doi.org/10.22219/jcse.v1i2.12322>
- Saputri, T. A., Sutomo, B., & Hairunnisa, A. (2024). OPTIMASI ENERGI DENGAN IOT DAN FUZZY LOGIC PADA AC SMART DI GEDUNG DHARMA. 7(2), 128–137.
- Sucipto, A., Brilliantina, A., Sari, E. K. N., Wijaya, R., Triardianto, D., & Adhamatika, A. (2023). Rancang Bangun Alat Deteksi Dan Pengukur Gas Emisi Karbondioksida (CO₂) Dan Gas Emisi Metana (CH₄) Berbasis Mikrokontoler. JUSTER : Jurnal Sains Dan Terapan, 2(1), 122–126. <https://doi.org/10.57218/juster.v2i1.541>
- Sumberdaya Bumi Berkelanjutan, J., Agung Cahyadi, T., Jayadianti, H., Ernawati, R., Iqbal Ansori, M., & Firmansyah, I. (2023). Model fuzzy logic pada air asam tambang untuk prediksi pencemaran sungai – literature review. Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN), 2(1), 50–57.
<http://ejurnal.itats.ac.id/jsemitan/article/view/5008>