



Penerapan Metode Fuzzy Sugeno untuk Analisis Tekanan Kependudukan di Indonesia dengan Studi Kasus Provinsi Sumatera Utara Tahun 2024

Application of the Sugeno Fuzzy Method for Population Pressure Analysis in Indonesia with a Case Study of North Sumatra Province in 2024

Abdul Aziz Ardana¹, Muhammad Fakhri Fauzar², Khairul Saleh³

Teknik, Universitas Asahan

Email: abdulazizindrapura@gmail.com¹, fakhrifauzar@gmail.com², khairulsibungsu@yahoo.com³

Article Info

Article history :

Received : 24-01-2026

Revised : 25-01-2026

Accepted : 27-01-2026

Pulished : 29-01-2026

Abstract

Population growth in Indonesia has the potential to put pressure on regional carrying capacity, particularly regarding density, growth rate, and demographic structure. This study analyzes population pressure using the Fuzzy Inference System (FIS) method with the Sugeno approach based on 2024 BPS data. The variables of population density, growth rate, and sex ratio are represented in low, medium, and high fuzzy sets, then processed using IF–THEN rules to generate the Population Pressure Index (PIP). The results show that the Fuzzy Sugeno method effectively accommodates uncertainty and nonlinear relationships between variables. An example of its application in Aceh Province resulted in a PIP of 30, categorized as low pressure. This method is suitable for use as a decision support system in development planning and resource management in Indonesia.

Keywords : Population Pressure, Fuzzy Sugeno, FIS, Population.

Abstrak

Pertumbuhan penduduk di Indonesia berpotensi menimbulkan tekanan terhadap daya dukung wilayah, terutama terkait kepadatan, laju pertumbuhan, dan struktur demografis. Penelitian ini menganalisis tekanan kependudukan menggunakan metode *Fuzzy Inference System* (FIS) dengan pendekatan Sugeno berdasarkan data BPS tahun 2024. Variabel kepadatan penduduk, laju pertumbuhan, dan rasio jenis kelamin direpresentasikan dalam himpunan fuzzy rendah, sedang, dan tinggi, kemudian diproses melalui aturan IF–THEN untuk menghasilkan Indeks Tekanan Kependudukan (ITK). Hasil menunjukkan bahwa metode Fuzzy Sugeno efektif mengakomodasi ketidakpastian dan hubungan nonlinier antarvariabel. Contoh penerapan di Provinsi Aceh menghasilkan ITK sebesar 30 yang dikategorikan sebagai tekanan rendah. Metode ini layak digunakan sebagai sistem pendukung keputusan dalam perencanaan pembangunan dan pengelolaan sumber daya di Indonesia.

Kata Kunci : Tekanan Kependudukan, Fuzzy Sugeno, FIS, Kependudukan.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk di Indonesia menunjukkan tren yang terus meningkat dari tahun ke tahun, seiring dengan perkembangan sosial, ekonomi, dan urbanisasi. Peningkatan jumlah penduduk yang tidak diimbangi dengan ketersediaan sumber daya, infrastruktur, dan layanan publik berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan, seperti kepadatan permukiman, tekanan terhadap lingkungan, keterbatasan lapangan kerja, serta meningkatnya kebutuhan pangan, air, dan energi. Oleh karena itu, analisis tekanan kependudukan menjadi penting sebagai dasar perencanaan pembangunan yang berkelanjutan.



Tekanan kependudukan merupakan kondisi di mana jumlah penduduk dan dinamika pertumbuhannya memberikan beban terhadap daya dukung wilayah. Beberapa indikator utama yang memengaruhi tekanan kependudukan antara lain kepadatan penduduk, laju pertumbuhan penduduk, serta rasio jenis kelamin. Kepadatan penduduk mencerminkan tingkat pemanfaatan ruang wilayah, laju pertumbuhan penduduk menunjukkan dinamika pertambahan penduduk dari waktu ke waktu, sedangkan rasio jenis kelamin menggambarkan keseimbangan struktur demografis yang dapat memengaruhi aspek sosial dan ekonomi. Ketidakseimbangan pada ketiga indikator tersebut dapat meningkatkan risiko permasalahan kependudukan di suatu wilayah.

Dalam praktiknya, analisis tekanan kependudukan sering dihadapkan pada ketidakpastian data, perbedaan karakteristik antarwilayah, serta hubungan antarvariabel yang tidak selalu bersifat linier. Pendekatan konvensional berbasis batas nilai tegas sering kali kurang mampu merepresentasikan kondisi riil di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang mampu mengakomodasi ketidakpastian, ambiguitas, dan kompleksitas data demografis secara lebih fleksibel (Boy et al., 2025).

Metode fuzzy Sugeno merupakan salah satu pendekatan yang efektif untuk memodelkan hubungan antarvariabel dalam kondisi yang tidak pasti. Metode ini mampu mengubah data kuantitatif menjadi nilai linguistik, mengolahnya melalui aturan-aturan fuzzy, serta menghasilkan keluaran berupa nilai tegas yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Dalam penelitian ini, metode fuzzy Sugeno diterapkan untuk menganalisis tekanan kependudukan di Indonesia tahun 2024 dengan menggunakan variabel input berupa kepadatan penduduk, laju pertumbuhan penduduk, dan rasio jenis kelamin, serta menghasilkan keluaran berupa Indeks Tekanan Kependudukan (Vinsensia, 2021).

Metode konvensional dalam analisis kependudukan sering kali belum optimal dalam memodelkan hubungan nonlinier dan ketidakpastian antar variabel (Yuliana & Prasetyo, 2023). Oleh karena itu, logika fuzzy menjadi alternatif yang efektif karena mampu merepresentasikan ketidakpastian dan ambiguitas data secara lebih fleksibel (Nugroho et al., 2024). Salah satu teknik yang banyak digunakan adalah *Fuzzy Inference System* (FIS) metode Sugeno, yang menghasilkan keluaran numerik tegas (*crisp*) dan sesuai untuk sistem pendukung keputusan berbasis kuantitatif (Sihombing, 2024).

Pendekatan logika fuzzy memberikan solusi terhadap keterbatasan tersebut dengan menggunakan teori himpunan fuzzy untuk merepresentasikan variabel yang bersifat samar atau tidak pasti. Salah satu model yang banyak dipakai adalah Fuzzy Inference System (FIS) dengan metode Sugeno, yang memiliki keuntungan menghasilkan *output* numerik yang tegas (*crisp*), serta dihitung berdasarkan fungsi linear atau konstanta pada aturan (*IF-THEN*) sehingga cocok untuk aplikasi prediktif atas data sosial dan ekonomi (Prihamayu & Hudaaka, 2025).

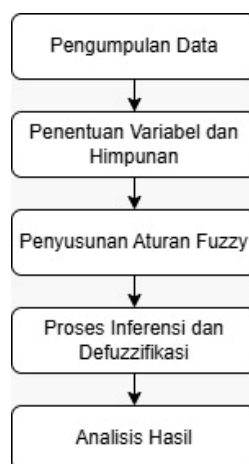
Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa model Fuzzy Sugeno efektif digunakan untuk prediksi dan pengambilan keputusan dalam berbagai bidang, mulai dari prediksi tingkat kemiskinan hingga optimasi stok atau layanan kesehatan. Sebagai contoh, Fuzzy Sugeno telah berhasil diterapkan untuk memprediksi tingkat kemiskinan di Surabaya dengan akurasi yang baik sehingga membantu perencanaan kebijakan sosial ekonomi daerah (Sistem et al., 2025).



Hasil analisis diharapkan dapat memberikan gambaran tingkat tekanan kependudukan di berbagai wilayah di Indonesia, sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan pembangunan, pemerataan penduduk, serta pengelolaan sumber daya secara lebih efektif dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian bertujuan untuk menganalisis kualitas air pada budidaya ikan lele menggunakan metode Fuzzy Sugeno sebagai metode pengambilan keputusan berdasarkan parameter kualitas air. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, penentuan variabel penelitian, perancangan model fuzzy, proses inferensi, serta analisis hasil.



1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kependudukan tahun 2024 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS). Parameter yang dianalisis meliputi kepadatan penduduk, laju pertumbuhan penduduk, dan rasio jenis kelamin menurut provinsi di Indonesia. Data tersebut dikumpulkan melalui studi dokumentasi dan didukung oleh kajian literatur yang berkaitan dengan konsep tekanan kependudukan dan daya dukung wilayah.

2. Penentuan Variabel dan Himpunan Fuzzy

Setiap indikator kependudukan ditetapkan sebagai variabel input dalam metode Fuzzy Sugeno, yaitu kepadatan penduduk (x_1), laju pertumbuhan penduduk (x_2), dan rasio jenis kelamin (x_3). Masing-masing variabel direpresentasikan ke dalam beberapa himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, sesuai dengan karakteristik dan rentang nilai masing-masing indikator. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi segitiga dan trapesium untuk memudahkan proses pemodelan dan perhitungan.

Variabel output berupa Indeks Tekanan Kependudukan (ITK) ditentukan dalam bentuk nilai konstanta sesuai dengan metode Sugeno, yaitu ITK rendah, sedang, dan tinggi.

3. Penyusunan Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy disusun dalam bentuk aturan IF–THEN berdasarkan kajian literatur, konsep tekanan kependudukan, serta hubungan antarvariabel kependudukan. Aturan ini digunakan untuk menghubungkan kondisi variabel input dengan tingkat tekanan



kependudukan. Pada metode Sugeno, bagian konsekuen dari setiap aturan berupa nilai konstanta yang merepresentasikan kategori ITK, yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

4. Proses Inferensi dan Defuzzifikasi

Proses inferensi dilakukan menggunakan metode Fuzzy Sugeno dengan operator logika AND untuk mengombinasikan beberapa kondisi input. Nilai keluaran diperoleh melalui perhitungan rata-rata terbobot (weighted average), sehingga menghasilkan nilai tegas (crisp) berupa Indeks Tekanan Kependudukan (ITK) untuk setiap wilayah yang dianalisis.

5. Analisis Hasil

Hasil perhitungan metode Fuzzy Sugeno dianalisis untuk mengetahui tingkat tekanan kependudukan berdasarkan indikator yang diuji. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai ITK antarprovinsi serta mengelompokkan wilayah ke dalam kategori tekanan rendah, sedang, dan tinggi. Hasil ini diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi tekanan kependudukan di Indonesia sebagai bahan pertimbangan dalam perumusan kebijakan kependudukan dan pembangunan wilayah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui studi dokumentasi dan studi literatur. Data utama bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024 yang memuat informasi kepadatan penduduk, laju pertumbuhan penduduk, dan rasio jenis kelamin menurut provinsi di Indonesia. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam penerapan metode Fuzzy Sugeno untuk menghitung Indeks Tekanan Kependudukan (ITK).

a. Lokasi dan Objek Penelitian

Objek penelitian adalah seluruh provinsi di Indonesia pada tahun 2024. Setiap provinsi dianalisis berdasarkan tiga indikator kependudukan, yaitu kepadatan penduduk (jiwa/km²), laju pertumbuhan penduduk (%), dan rasio jenis kelamin (jumlah penduduk laki-laki per 100 penduduk perempuan).

b. Teknik Pengukuran Parameter

Data diperoleh melalui:

- 1) Studi dokumentasi, yaitu pengambilan data resmi dari publikasi dan tabel statistik BPS.
- 2) Studi literatur, yaitu pengumpulan referensi ilmiah terkait konsep tekanan kependudukan, daya dukung wilayah, dan penerapan metode fuzzy dalam bidang kependudukan.



Tabel berikut merupakan contoh struktur data yang digunakan dalam penelitian:

Tabel 1. Data Kependudukan Tahun 2024

No	Provinsi	Kepadatan Penduduk (jiwa/km ²)	Laju Pertumbuhan (%)	Rasio Jenis Kelamin
1	Aceh	26,5	1,39	100,9
2	Sumatera Utara	27,0	1,40	100,8
3	Sumatera Barat	139	1,43	101,5
4	Riau	75	1,37	104,4
5	Jambi	76	1,30	103,4
6	Sumatera Selatan	102	1,15	103,7
7	Bengkulu	105	1,32	104,4
8	Lampung	281	1,20	104,3
9	Kepulauan Bangka Belitung	92	1,36	105,4
10	Kepulauan Riau	264	1,50	103,3

2. Penentuan Variabel dan Himpunan Fuzzy

Dalam metode Fuzzy Sugeno, tahap awal yang krusial adalah menentukan variabel input dan output beserta semesta pembicaraannya (rentang nilai). Berdasarkan indikator tekanan kependudukan, variabel dibagi sebagai berikut:

a. Variabel Input (Antecedent)

Variabel input terdiri dari indikator kependudukan yang diperoleh dari data BPS. Setiap variabel memiliki rentang nilai dan himpunan fuzzy masing-masing.

Kepadatan Penduduk (x1)

- 1) Rendah: 0 – 300
- 2) Sedang: 150 – 1200
- 3) Tinggi: > 900

Laju Pertumbuhan Penduduk (x2):

- 1) Rendah: 0 – 1,0
- 2) Sedang: 0,8 – 1,6
- 3) Tinggi: > 1,4

Rasio Jenis Kelamin (x3):

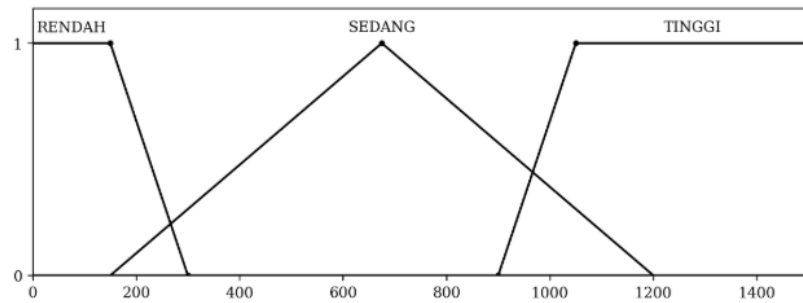
- 1) Rendah: 90 – 97
- 2) Sedang: 96 – 104
- 3) Tinggi: > 103

Rentang nilai tersebut direpresentasikan ke dalam fungsi keanggotaan berbentuk segitiga dan trapesium untuk memudahkan proses perhitungan dalam sistem fuzzy.

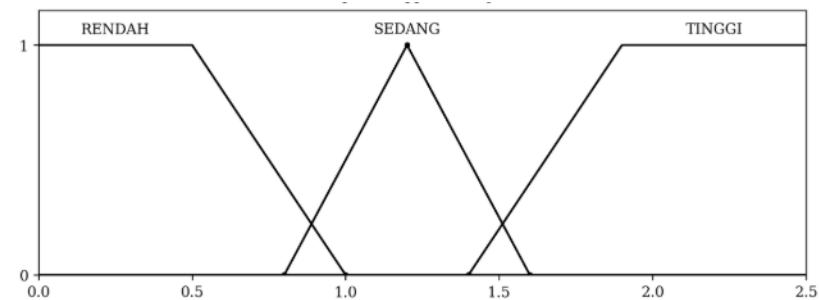


b. Variabel Output (Konsekuen)

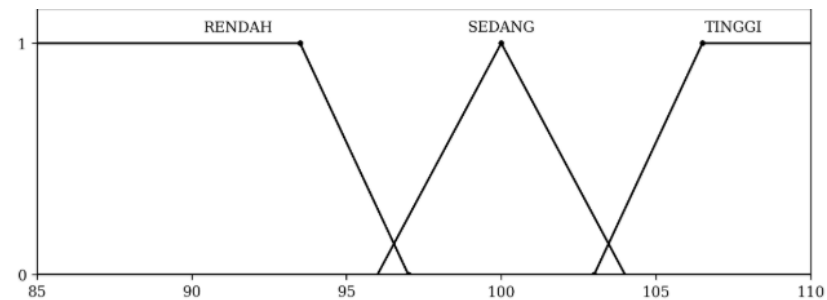
Karena menggunakan metode Sugeno orde nol, maka variabel output tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa nilai konstanta (singleton) yang merepresentasikan tingkat tekanan kependudukan, yaitu:



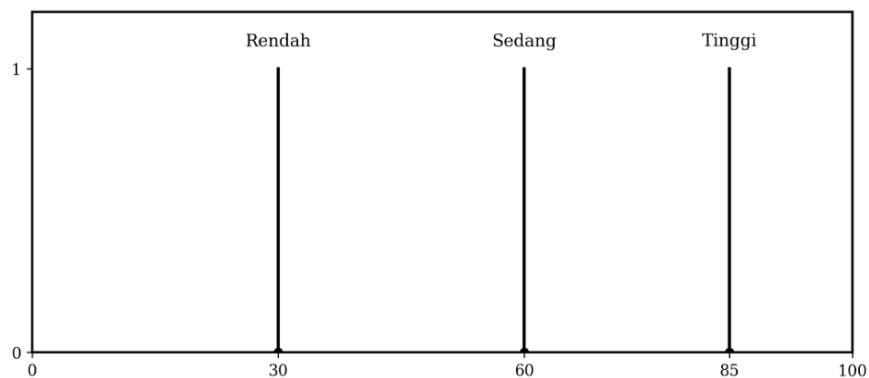
Gambar 1.1 Fungsi Keanggotaan Kepadatan Penduduk.



Gambar 1.2 Fungsi Keanggotaan Laju Pertumbuhan Penduduk



Gambar 1.3 Fungsi Keanggotaan Rasio Jenis Kelamin



Gambar 1.4 Singleton



3. Penyusunan Aturan Fuzzy (Rule Base)

Aturan fuzzy disusun menggunakan logika IF-THEN yang mengadopsi pengetahuan tentang tekanan kependudukan dan indikator demografi. Karena penelitian ini menggunakan Sugeno Orde-Nol, maka bagian konsekuen (output) dinyatakan dengan nilai konstanta tetap (Z).

Tabel 2. Rule Base

No	Kepadatan Penduduk (Input 1)	Laju Pertumbuhan (Input 2)	Rasio Jenis Kelamin (Input 3)	Output(Z)	Status Keputusan
1	Rendah	Rendah	Sedang	30	ITK Rendah
2	Rendah	Rendah	Tinggi	30	ITK Rendah
3	Rendah	Sedang	Rendah	30	ITK Rendah
4	Rendah	Sedang	Sedang	30	ITK Rendah
5	Sedang	Rendah	Rendah	30	ITK Rendah
6	Sedang	Rendah	Sedang	60	ITK Sedang
7	Sedang	Sedang	Sedang	60	ITK Sedang
8	Sedang	Tinggi	Tinggi	85	ITK Tinggi
9	Tinggi	Rendah	Sedang	60	ITK Sedang
10	Tinggi	Sedang	Rendah	60	ITK Sedang
11	Tinggi	Sedang	Sedang	85	ITK Tinggi
12	Tinggi	Tinggi	Rendah	85	ITK Tinggi
13	Tinggi	Tinggi	Sedang	85	ITK Tinggi
14	Tinggi	Tinggi	Tinggi	85	ITK Tinggi
15	Rendah	Tinggi	Tinggi	60	ITK Sedang
16	Sedang	Tinggi	Rendah	60	ITK Sedang

4. Proses Inferensi dan Defuzzifikasi

Proses ini bertujuan untuk menghitung nilai keluaran tegas (crisp output) berdasarkan aturan (rule base) yang telah ditetapkan sebelumnya.

Contoh Kasus: Provinsi Aceh

Input: Kepadatan Penduduk = 98 jiwa/km², Laju Pertumbuhan Penduduk = 1.39%, Rasio Jenis Kelamin = 100.9

Langkah 1: Fuzzifikasi

Berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan:

Kepadatan Penduduk 98: Masuk kategori Rendah dengan $\mu_{\text{Rendah}} = 1.0$

Laju Pertumbuhan 1.39: Masuk kategori Sedang dengan $\mu_{\text{Sedang}} = 0.525$

Rasio Jenis Kelamin 100.9: Masuk kategori Sedang dengan $\mu_{\text{Sedang}} = 0.775$

Langkah 2: Inferensi (Penerapan Aturan)

Aturan yang terpicu adalah R4: IF Kepadatan Rendah AND Laju Pertumbuhan Sedang AND Rasio Jenis Kelamin Sedang THEN Z = 30.

$$\alpha_1 = \text{Min}(\mu_{\text{Rendah}}, \mu_{\text{Sedang}}, \mu_{\text{Sedang}}) = \text{Min}(1.0, 0.525, 0.775) = 0.525$$

Nilai konstanta $Z_1 = 30$.



Langkah 3: Defuzzifikasi

$$Z_{akhir} = \frac{\alpha \times 1 \times Z1}{\alpha \times 1} = \frac{1.525 \times 30}{0.525} = 30$$

Berdasarkan perhitungan defuzzifikasi untuk data Provinsi Aceh:

Hasil: Indeks Tekanan Kependudukan (ITK) = 30

Interpretasi: ITK RENDAH

Analisis Hasil

Berdasarkan hasil pengujian sistem menggunakan metode Fuzzy Sugeno pada data kependudukan provinsi, terlihat bahwa sistem mampu memberikan penilaian yang objektif terhadap tingkat tekanan kependudukan. Pada sampel data Provinsi Aceh, sistem menghasilkan nilai Indeks Tekanan Kependudukan (ITK) sebesar 30 yang dikategorikan sebagai "ITK Rendah". Hal ini selaras dengan kondisi riil di mana kepadatan penduduk berada pada angka 98 jiwa/km² (kategori Rendah dengan $\mu = 1.0$), laju pertumbuhan 1.39% (kategori Sedang dengan $\mu = 0.525$), dan rasio jenis kelamin 100.9 (kategori Sedang dengan $\mu = 0.775$).

Keunggulan logika Fuzzy Sugeno terlihat ketika sistem menangani data dengan nilai yang berada pada zona transisi antar kategori. Melalui rumus weighted average, sistem mampu menghasilkan nilai ITK yang mencerminkan kondisi demografis secara akurat. Misalnya, meskipun kepadatan penduduk Aceh tergolong rendah, laju pertumbuhan yang cenderung sedang tetap diperhitungkan dalam inferensi, sehingga menghasilkan output yang proporsional dan tidak ekstrem.

Penggunaan metode Sugeno Orde-Nol dengan nilai konstanta (30, 60, 85) terbukti efektif untuk sistem pendukung keputusan dalam analisis kependudukan. Metode ini mempercepat proses komputasi tanpa mengurangi akurasi, sehingga dapat diimplementasikan untuk monitoring real-time tekanan kependudukan di berbagai provinsi. Dengan demikian, pengambil kebijakan dapat memperoleh informasi terukur dan objektif sebagai dasar perencanaan pembangunan dan alokasi sumber daya yang lebih tepat sasaran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode Fuzzy Sugeno mampu digunakan sebagai pendekatan analisis untuk menentukan tingkat tekanan kependudukan berdasarkan parameter kepadatan penduduk, laju pertumbuhan penduduk, dan rasio jenis kelamin. Metode ini dapat mengakomodasi ketidakpastian nilai parameter demografis dengan menghasilkan nilai Indeks Tekanan Kependudukan (ITK) yang bersifat tegas (crisp), sehingga mudah diinterpretasikan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi kepadatan rendah, laju pertumbuhan rendah, dan rasio jenis kelamin seimbang menghasilkan nilai ITK rendah ($Z = 30$) dengan status ITK Rendah, yang menandakan kondisi demografis stabil. Sementara itu, kombinasi kepadatan sedang dengan laju pertumbuhan sedang menghasilkan nilai ITK sedang ($Z = 60$) dengan status ITK Sedang, yang menunjukkan perlunya monitoring berkelanjutan. Adapun kondisi kepadatan tinggi



dengan laju pertumbuhan tinggi menghasilkan nilai ITK tinggi ($Z = 85$) dengan status ITK Tinggi, yang menandakan diperlukan intervensi kebijakan kependudukan.

Dengan demikian, metode Fuzzy Sugeno efektif dalam membedakan tingkat tekanan kependudukan secara bertahap berdasarkan kondisi parameter demografis. Pendekatan ini diharapkan dapat membantu pengambil kebijakan dalam memahami tingkat tekanan kependudukan di setiap provinsi serta mendukung pengambilan keputusan perencanaan pembangunan dan alokasi sumber daya secara tepat guna meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Badan Pusat Statistik (BPS) yang telah menyediakan data kependudukan provinsi yang menjadi dasar analisis dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan rekan-rekan yang telah memberikan masukan, saran, serta bimbingan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Boy, D. Y., Abdullah, F., Mardiasih, N. C., Boy, D. Y., Abdullah, F., Mardiasih, N. C., Studi, P., Pembangunan, E., Ekonomi, F., Malang, U. M., Terusan, J., No, D., Malang, K., Timur, J., & Penduduk, K. (2025). *Prediksi Fertilitas, Mortalitas dan Kepadatan Penduduk di Kabupaten Manggarai Tengah wilayah (Mantra 2000)*. Sedangkan menurut Soerjani dalam Fajri dan Rizki.
- Prihamayu, A. H., & Hudaaka, Z. L. (2025). *Penerapan Sistem Inferensi Fuzzy Sugeno untuk Evaluasi Kepuasan Konsumen pada Industri Batik Sidomukti Magetan*. VIII, 269–273.
- Sihombing, F. A. (2024). *Kajian Fuzzy Metode Mamdani dan Fuzzy Metode Sugeno serta Implementasinya*. 4, 4940–4955.
- Sistem, J., Jscr, R., & Josefpine, C. A. (2025). *Penerapan Metode Fuzzy Sugeno Untuk Prediksi Tingkat Kemiskinan di Surabaya*. 7(April), 1–13.
- Vinsensia, D. (2021). *Analisis Kinerja Pelayanan Kesehatan Dengan Pendekatan Logika Fuzzy Sugeno* JURNAL MEDIA INFORMATIKA [JUMIN]. 2(2), 62–73.