Pengaplikasian Fuzzy Pollution Index Dalam Penentuan Status Pencemaran Perairan Pesisir

Abdurrahman[1*], Cut Tasya Adiva[2], Reinaldo F. M Hutabarat[3], Tri Gustini Simorangkir[4], Thiodore Salomo Braveman Siregar[5]
[1,2,3,4,5] Matematika, Universitas Negeri Medan, Kota Medan, 20221, Indonesia
*Corresponding Author: rahmanst251003@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menerapkan sistem inferensi fuzzy tipe Mamdani untuk menilai status mutu perairan pesisir berbasis empat parameter kualitas air, yakni pH, TSS, amonia, dan deterjen, menggunakan data sekunder dari 14 stasiun. Tahapan meliputi fuzzifikasi (pemetaan parameter ke himpunan linguistik dengan fungsi keanggotaan beririsan), basis aturan sebanyak 81 aturan IF–THEN, proses inferensi, serta defuzzifikasi untuk menghasilkan skor mutu kontinu (0–10) yang kemudian dipetakan ke kategori mutu air. Evaluasi menggunakan Mean Squared Error (MSE) dilakukan dengan membandingkan skor keluaran Mamdani terhadap label mutu target per stasiun. Hasil menunjukkan mayoritas stasiun (12 dari 14) berada pada kategori baik, sementara 2 stasiun berada pada kategori sedang, mencerminkan kondisi pesisir yang relatif terjaga namun tetap memerlukan kewaspadaan di titik-titik tertentu. Secara metodologis, pendekatan fuzzy membantu mereduksi sensitivitas berlebih terhadap perubahan kecil data dan memberikan klasifikasi yang lebih halus dibandingkan pendekatan berbasis ambang batas tegas. Temuan ini menegaskan potensi sistem fuzzy Mamdani sebagai alat bantu keputusan untuk pemantauan dan pengelolaan kualitas air pesisir secara berkelanjutan.
Kata kunci: Logika fuzzy; Mamdani; kualitas air pesisir; pH; TSS; amonia; deterjen; defuzzifikasi; aturan IF–THEN

Abstract

This study employs a Mamdani-type fuzzy inference system to assess coastal water quality using four parameters—pH, TSS, ammonia, and detergent—compiled as secondary data from 14 monitoring stations. The workflow includes fuzzification (mapping inputs to overlapping linguistic membership functions), a rule base of 81 IF–THEN rules, inference, and defuzzification to produce a continuous quality score (0–10) that is then mapped to categorical water quality classes. Model evaluation uses Mean Squared Error (MSE) by comparing Mamdani outputs with station-level target labels. Findings indicate that 12 of 14 stations fall into the good category and 2 stations into the moderate category, suggesting generally sound conditions with localized concerns. Methodologically, the fuzzy approach mitigates over-sensitivity to small measurement fluctuations and yields finer-grained classifications than crisp thresholding. Overall, the Mamdani fuzzy framework demonstrates practical value as a decision-support tool for routine monitoring and management of coastal water quality.
Keywords: Fuzzy logic; Mamdani inference; coastal water quality; pH; TSS; ammonia; detergent; defuzzification; IF–THEN rules

Citation: Abdurrahman, dkk. (2025). Pengaplikasian Fuzzy Pollution Index Dalam Penentuan Status Pencemaran Perairan Pesisir. *Prodising Seminar Nasional Jurusan Matematika 2025*. 691 – 697.

PENDAHULUAN

Kualitas lingkungan perairan pesisir merupakan salah satu indikator penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem laut serta keberlanjutan aktivitas masyarakat di wilayah pesisir. Perairan pesisir sering menjadi lokasi utama bagi kegiatan ekonomi seperti perikanan, pertanian, dan industri rumah tangga. Meningkatnya aktivitas manusia di wilayah ini mengakibatkan potensi terjadinya pencemaran air semakin tinggi, baik yang berasal dari limbah domestik, pertanian, maupun industri. Oleh karena itu, penilaian terhadap kualitas air laut menjadi hal penting dalam menentukan status dan tingkat pencemaran perairan secara akurat (Hermansyah, 2022). Salah satu metode yang umum digunakan dalam menilai tingkat pencemaran perairan adalah Indeks Pencemaran (Pollution Index, PI) yang dikembangkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Metode ini menghitung besarnya deviasi nilai parameter kualitas air terhadap baku mutu yang telah ditetapkan. Melalui perhitungan PI, status perairan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori seperti memenuhi baku mutu, tercemar ringan, tercemar sedang, atau tercemar berat. Pendekatan ini banyak digunakan karena sederhana dan mudah diterapkan di lapangan.

Namun demikian, metode Pollution Index konvensional memiliki beberapa keterbatasan. Nilai PI diperoleh melalui perbandingan langsung antara hasil pengukuran dengan nilai ambang batas (baku mutu) yang bersifat kaku (crisp) dan tidak mempertimbangkan ketidakpastian (uncertainty) pada data lingkungan. Misalnya, perubahan kecil pada nilai pH atau konsentrasi oksigen terlarut dapat menyebabkan perubahan kategori pencemaran secara drastis, padahal secara ekologis kondisi tersebut tidak jauh berbeda. Kondisi ini menunjukkan bahwa metode PI konvensional belum sepenuhnya mencerminkan kompleksitas dan variasi alami dari ekosistem perairan (Fakhrurroja et al., 2023). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pendekatan berbasis logika fuzzy (fuzzy logic) dapat digunakan sebagai alternatif dalam menilai

kualitas air. Logika fuzzy, yang diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965, memungkinkan representasi nilai-nilai yang tidak pasti atau samar ke dalam bentuk linguistik seperti rendah, sedang, dan tinggi. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas dalam menginterpretasikan nilai-nilai parameter kualitas air, tidak sebagai batas tegas tetapi sebagai derajat keanggotaan dalam rentang nilai tertentu. Dengan demikian, sistem penilaian kualitas air dapat lebih adaptif terhadap variasi kecil dalam data pengukuran (Misbah Anuri, Sadrina, 2023).

Dalam penelitian ini, pendekatan yang digunakan dikenal sebagai Fuzzy Pollution Index (FPI), yaitu pengembangan dari metode Pollution Index konvensional dengan menggunakan sistem logika fuzzy. FPI berfungsi untuk memproses data kualitas air melalui tahapan fuzzifikasi, pembentukan aturan (rule base), inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi sehingga menghasilkan nilai indeks pencemaran fuzzy yang lebih fleksibel dan realistis. Melalui sistem ini, penilaian tidak hanya menghasilkan kategori pencemaran secara diskrit, tetapi juga memberikan nilai derajat pencemaran yang mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan (Novian et al., 2024). Proses fuzzifikasi dilakukan dengan mengubah setiap parameter kualitas air ke dalam bentuk himpunan fuzzy. Misalnya, parameter pH dibagi ke dalam himpunan linguistik asam, netral, dan basa, sedangkan oksigen terlarut (DO) memiliki himpunan rendah, sedang, dan tinggi. Setiap himpunan fuzzy direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga (triangular membership function) untuk memodelkan batas antar kategori. Contoh fungsi keanggotaan antara lain: pH: Asam (5–6.5), Netral (6.5–7.5), Basa (7.5–9), DO (mg/L): Rendah (0–4), Sedang (4–6), Tinggi (6–10), TDS (mg/L): Rendah (0–500), Sedang (500–1000), Tinggi (1000–2000) (Asrori, n.d.).

Berdasarkan hasil fuzzifikasi tersebut, dibentuk sejumlah aturan (rule base) untuk menilai tingkat pencemaran. Contoh aturan yang digunakan antara lain: IF DO rendah AND TDS tinggi THEN Pencemaran Berat, IF pH netral AND DO sedang THEN Pencemaran Ringan, IF DO tinggi AND TDS rendah THEN Pencemaran Rendah, IF Suhu tinggi AND Salinitas tinggi THEN Pencemaran Sedang. Dengan adanya proses fuzzifikasi dan aturan inferensi tersebut, sistem Fuzzy Pollution Index dapat memberikan penilaian yang lebih halus dan berkesinambungan terhadap kondisi perairan. Pendekatan ini juga membantu mengatasi ketidakpastian data serta meminimalkan kesalahan klasifikasi akibat batas nilai yang terlalu tegas seperti pada metode konvensional (Novian et al., 2024).

Pada penelitian terdahulu, Metode Fuzzy Mamdani digunakan untuk Menentukan Tingkat Kualitas Air Sungai Lintas Provinsi di Pulau Jawa oleh Widyastiti (2018) menerapkan metode Mamdani untuk menilai status kualitas air sungai di beberapa provinsi di Pulau Jawa. Parameter yang digunakan meliputi pH, TSS, Amonia dan Surfaktand. Hasil menunjukkan bahwa beberapa wilayah termasuk dalam kategori pencemaran berat atau sedang berdasarkan sistem fuzzy. Penelitian ini relevan karena menggunakan metode Mamdani dalam konteks status mutu perairan (meskipun sungai, bukan pesisir) dan mendemonstrasikan kelayakan metodologi.(Air et al., 2018). Sejumlah penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa penerapan logika fuzzy pada penilaian kualitas air memberikan hasil yang lebih realistis dan mendekati kondisi lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan Fuzzy Pollution Index dalam menentukan status pencemaran perairan pesisir, sehingga dapat mendukung pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan serta memberikan dasar ilmiah bagi kebijakan lingkungan di wilayah pesisir.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan pendekatan logika fuzzy untuk menerapkan konsep Fuzzy Pollution Index (FPI) dalam menentukan status pencemaran perairan pesisir. Penelitian ini bersifat pengembangan model, yaitu mengadaptasi penelitian sebelumnya yang menggunakan metode konvensional penentuan indeks pencemaran air menjadi bentuk sistem berbasis fuzzy. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diambil dari jurnal ilmiah relevan yang menyediakan parameter kualitas air. Parameter yang digunakan meliputi pH, Total Suspended Solid (TSS), deterjen dan amonia. Data tersebut dikumpulkan dalam satuan yang seragam, kemudian dibandingkan dengan nilai baku mutu perairan yang ditetapkan oleh standar nasional maupun internasional untuk menentukan batas keanggotaan fuzzy.

Tahapan awal penelitian dimulai dengan pra-pengolahan data. Proses ini mencakup pembersihan data untuk menghilangkan nilai-nilai ekstrem (outlier) dan penanganan data yang hilang (missing value) dengan teknik imputasi rata-rata atau median. Selanjutnya dilakukan penyeragaman satuan agar semua parameter memiliki skala yang sama. Jika diperlukan, dilakukan pula normalisasi ke rentang 0–1 untuk mempermudah proses fuzzifikasi. Tahapan ini penting untuk memastikan bahwa data yang akan diproses oleh sistem fuzzy bersih, valid, dan siap digunakan sebagai input model. Fuzzy Pollution Index (FPI) merupakan metode yang menggabungkan pendekatan logika fuzzy dengan Indeks Pencemaran (Pollution Index) untuk mengatasi ketidakpastian pada proses penentuan status kualitas air. Sistem ini dirancang agar

dapat menilai kondisi perairan secara lebih fleksibel dibandingkan metode deterministik yang menggunakan batas nilai tegas. Metode ini memanfaatkan pendekatan sistem inferensi fuzzy, khususnya tipe Mamdani, yang mampu menggambarkan hubungan antarparameter secara linguistik dengan aturan berbentuk "IF – THEN" (Gorelova et al., 2023). Proses utama pada sistem fuzzy Mamdani dalam FPI meliputi tiga tahap; (1) Fuzzifikasi – mengubah data numerik menjadi derajat keanggotaan fuzzy; (2) Inferensi – menerapkan aturan linguistik "IF – THEN" untuk menghubungkan variabel; dan (3) Defuzzifikasi – mengubah hasil fuzzy menjadi nilai crisp akhir (indeks pencemaran fuzzy).

Input merupakan variabel-parameter kualitas air yang akan digunakan sebagai masukan ke sistem fuzzy. Untuk perairan pesisir, beberapa parameter penting bisa berupa: pH, TSS (Total Suspended Solids), Amonia, Surfaktan dan parameter lainnya yang relevan.Setiap parameter memiliki nilai kuantitatif (misalnya mg/L, % saturasi) yang kemudian akan difuzzifikasi ke dalam himpunan linguistik seperti "rendah", "sedang", "tinggi". Output sistem adalah status pencemaran perairan pesisir sebagai hasil akhir dari indeks fuzzy (FPI). Output dapat berupa; (1) Nilai indeks kontinu (misalnya 0-100) yang kemudian diklasifikasikan ke kategori; (2) kategori linguistik: "bersih", "tercemar ringan", "tercemar sedang", "tercemar berat"; (3) rekomendasi tindakan (opsional): misalnya "memerlukan pemantauan lanjut", "tindakan mitigasi".

Tahapan penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah sistematis yang dimulai dengan studi literatur, yaitu menelaah berbagai penelitian terdahulu mengenai indeks pencemaran air dan penerapan logika fuzzy dalam bidang lingkungan. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data sekunder dengan mengambil data kualitas air dari jurnal ilmiah yang relevan dan lengkap secara numerik. Setelah itu, penentuan variabel fuzzy dilakukan, yang meliputi penetapan parameter kualitas air sebagai input dan tingkat pencemaran sebagai output. Kemudian, pembentukan fungsi keanggotaan dilakukan berdasarkan rentang baku mutu air laut yang berlaku dengan menggunakan bentuk fungsi segitiga atau trapesium. Tahap berikutnya adalah penyusunan aturan fuzzy, yang berupa pernyataan IF-THEN yang menghubungkan kondisi parameter dengan status pencemaran. Proses inferensi fuzzy dilakukan menggunakan metode Mamdani untuk memperoleh nilai fuzzy output, yang kemudian diubah melalui proses defuzzifikasi menjadi nilai numerik (crisp value) yang menunjukkan indeks pencemaran. Terakhir, dilakukan analisis dan interpretasi hasil dengan membandingkan nilai Fuzzy Pollution Index terhadap metode konvensional yang ada.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian memuat serangkaian pengukuran lapangan pada sejumlah stasiun yang mencakup parameter pH, TSS, amonia, dan deterjen. Untuk keperluan pengambilan keputusan berbasis fuzzy menggunakan metode Mamdani, setiap parameter dipetakan ke himpunan linguistik dengan rentang (overlap) yang saling beririsan, sehingga transisi antar-kategori berlangsung mulus. Berikut merupakan pembentukan himpunan fuzzy pada setiap parameter. Pembentukan himpunan fuzzy variabel Ph mencakup tiga himpunan fuzzy, yaitu; 6,5 – 7,3 (asam); 7,0 – 8,0 (basa); dan 7,7 – 8,5 (netral). Fungsi keanggotaan Ph

pH Asam (6.5-7.3)

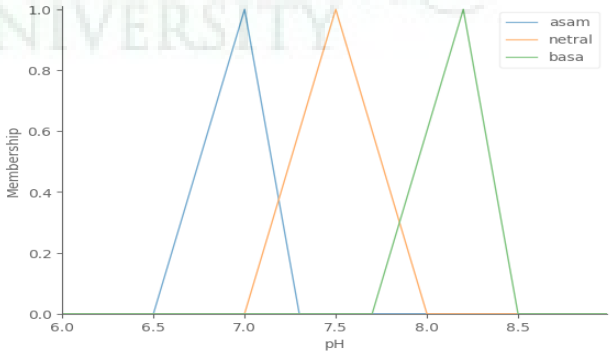
$$\mu_{Asam}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 6.5 \\ \dfrac{x - 6.5}{6.9 - 6.5} & 6.5 < x \le 6.9 \\ \dfrac{7.3 - x}{7.3 - 6.9} & 6.9 < x < 7.3 \\ 0 & x \ge 7.3 \end{cases}$$

pH Basa (7,0 – 8,0)

$$\mu_{Basa}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 7.0 \\ \dfrac{x - 7.0}{7.5 - 7.0} & 7.0 < x \le 7.5 \\ \dfrac{8.0 - x}{8.0 - 7.5} & 7.5 < x < 8.0 \\ 0 & x \ge 8.0 \end{cases}$$

pH (7,7 – 8,5)

$$\mu_{Netral}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 7.7 \\ \dfrac{x - 7.7}{8.1 - 7.7} & 7.7 < x \le 8.1 \\ \dfrac{8.5 - x}{8.5 - 8.1} & 8.1 < x < 8.5 \\ 0 & x \ge 8.5 \end{cases}$$



Gambar 1. Grafik Fungsi Keanggotaan pH

Pembentukan himpunan fuzzy variabel TSS mencakup tiga himpunan fuzzy; 0 – 60 (rendah); 40 – 100 (sedang); 80 – 150 (tinggi). Fungsi keanggotaan TSS sebagai berikut;

TSS Rendah (0 -60)

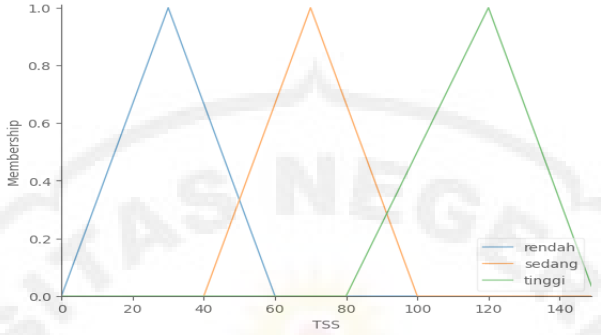
$$\mu_{\text{Rendah}}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 0 \\ \dfrac{x - 0}{30 - 0} & 0 < x \le 30 \\ \dfrac{60 - x}{60 - 30} & 30 < x < 60 \\ 0 & x \ge 60 \end{cases}$$

TSS Sedang (40 – 100)

$$\mu_{\text{Sedang}}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 40 \\ \dfrac{x - 40}{70 - 40} & 40 < x \le 70 \\ \dfrac{100 - x}{100 - 70} & 70 < x < 100 \\ 0 & x \ge 100 \end{cases}$$

TSS Tinggi (80 – 150)

$$\mu_{\text{Tinggi}}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 80 \\ \dfrac{x - 80}{115 - 80} & 80 < x \le 115 \\ \dfrac{150 - x}{150 - 115} & 115 < x < 150 \\ 0 & x \ge 150 \end{cases}$$



Gambar 2. Grafik fungsi keanggotaan TSS

Pembentukan himpunan fuzzy variabel Amonia mencakup tiga himpunan fuzzy; 0 – 0.2 (rendah); 0,15 – 0,35 (sedang); dan 0,30 – 1.00 (tinggi). Fungsi keanggotaan Amonia sebagai berikut

Amonia rendah $(0.00 - 0.20)$

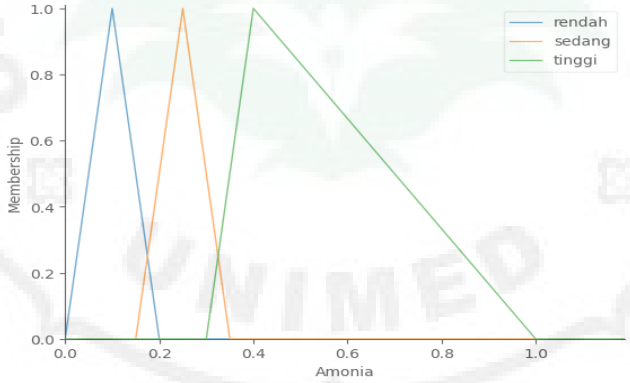
$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 0 \\ \dfrac{x - 0}{0.1 - 0} & 0 < x \le 0.1 \\ \dfrac{0.2 - x}{0.2 - 0.1} & 0.1 < x < 0.2 \\ 0 & x \ge 0.2 \end{cases}$$

Amonia sedang $(0.15 - 0.35)$

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 0.15 \\ \dfrac{x - 0.15}{0.25 - 0.15} & 0.15 < x \le 0.25 \\ \dfrac{0.35 - x}{0.35 - 0.25} & 0.25 < x < 0.35 \\ 0 & x \ge 0.35 \end{cases}$$

Amonia tinggi $(0.30 - 1.00)$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 0.3 \\ \dfrac{x - 0.3}{0.65 - 0.3} & 0.3 < x \le 0.65 \\ \dfrac{1 - x}{1 - 0.65} & 0.65 < x < 1 \\ 0 & x \ge 1 \end{cases}$$



Gambar 3. Grafik Fungsi Keanggotaan Amonia

Pembentukan himpunan fuzzy variabel Deterjen mencakup tiga himpunan fuzzy; 0 – 0,3 (rendah); 0,20 – 0,55 (sedang); 0,5 – 1,50 (tinggi). Fungsi keanggotaan Deterjen

Deterjen rendah $(0.00 - 0.30)$

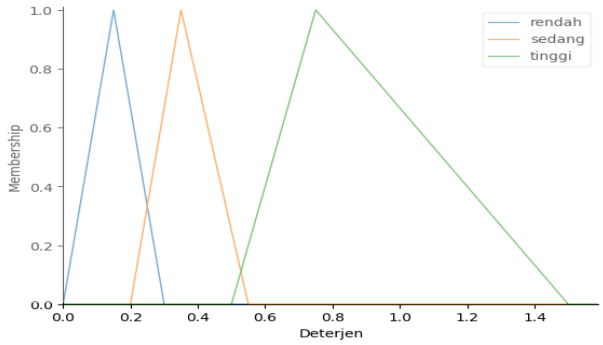
$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 0 \\ \dfrac{x - 0}{0.15 - 0} & 0 < x \le 0.15 \\ \dfrac{0.3 - x}{0.3 - 0.15} & 0.15 < x < 0.3 \\ 0 & x \ge 0.3 \end{cases}$$

Deterjen sedang $(0.20 - 0.55)$

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 0.2 \\ \dfrac{x - 0.2}{0.375 - 0.2} & 0.2 < x \le 0.375 \\ \dfrac{0.55 - x}{0.55 - 0.375} & 0.375 < x < 0.55 \\ 0 & x \ge 0.55 \end{cases}$$

Deterjen tinggi $(0.50 - 1.50)$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & x \le 0.5 \\ \dfrac{x - 0.5}{1 - 0.5} & 0.5 < x \le 1 \\ \dfrac{1.5 - x}{1.5 - 1} & 1 < x < 1.5 \\ 0 & x \ge 1.5 \end{cases}$$



Gambar 4. Grafik fungsi keanggotaan deterjen

Sistem dibangun dengan kombinasi aturan *IF–THEN* dengan empat masukan yaitu pH, TSS, amonia, dan deterjen menuju satu keluaran (Quality). Dengan tiga label pada tiap masukan, maka terbentuk 81 aturan yang mencakup seluruh kombinasi seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Aturan Logika Fuzzy

No	IF	pH	And	TSS	And	Amonia	And	Deterjen	Then	Quality
1	if	Asam	And	Rendah	And	Rendah	And	Rendah	Then	Baik
2	if	Asam	And	Rendah	And	Rendah	And	Sedang	Then	Sedang
3	if	Asam	And	Rendah	And	Rendah	And	Tinggi	Then	Buruk
4	if	Asam	And	Rendah	And	Sedang	And	Rendah	Then	Sedang
5	if	Asam	And	Rendah	And	Sedang	And	Sedang	Then	Sedang
6	if	Asam	And	Rendah	And	Sedang	And	Tinggi	Then	Buruk
7	if	Asam	And	Rendah	And	Tinggi	And	Rendah	Then	Buruk
8	if	Asam	And	Rendah	And	Tinggi	And	Sedang	Then	Buruk
9	if	Asam	And	Rendah	And	Tinggi	And	Tinggi	Then	Buruk
10	if	Asam	And	Sedang	And	Rendah	And	Rendah	Then	Sedang
11	if	Asam	And	Sedang	And	Rendah	And	Sedang	Then	Sedang
12	if	Asam	And	Sedang	And	Rendah	And	Tinggi	Then	Buruk
13	if	Asam	And	Sedang	And	Sedang	And	Rendah	Then	Sedang
14	if	Asam	And	Sedang	And	Sedang	And	Sedang	Then	Sedang
15	if	Asam	And	Sedang	And	Sedang	And	Tinggi	Then	Buruk
16	if	Asam	And	Sedang	And	Tinggi	And	Rendah	Then	Buruk
17	if	Asam	And	Sedang	And	Tinggi	And	Sedang	Then	Buruk
18	if	Asam	And	Sedang	And	Tinggi	And	Tinggi	Then	Buruk
19	if	Asam	And	Tinggi	And	Rendah	And	Rendah	Then	Buruk
20	if	Asam	And	Tinggi	And	Rendah	And	Sedang	Then	Buruk
21	if	Asam	And	Tinggi	And	Rendah	And	Tinggi	Then	Buruk
22	if	Asam	And	Tinggi	And	Sedang	And	Rendah	Then	Buruk
23	if	Asam	And	Tinggi	And	Sedang	And	Sedang	Then	Buruk
24	if	Asam	And	Tinggi	And	Sedang	And	Tinggi	Then	Buruk
25	if	Asam	And	Tinggi	And	Tinggi	And	Rendah	Then	Buruk
26	if	Asam	And	Tinggi	And	Tinggi	And	Sedang	Then	Buruk
27	if	Asam	And	Tinggi	And	Tinggi	And	Tinggi	Then	Buruk
28	if	Netral	And	Rendah	And	Rendah	And	Rendah	Then	Baik
29	if	Netral	And	Rendah	And	Rendah	And	Sedang	Then	Sedang
30	if	Netral	And	Rendah	And	Rendah	And	Tinggi	Then	Buruk
31	if	Netral	And	Rendah	And	Sedang	And	Rendah	Then	Sedang
32	if	Netral	And	Rendah	And	Sedang	And	Sedang	Then	Sedang
33	if	Netral	And	Rendah	And	Sedang	And	Tinggi	Then	Buruk
34	if	Netral	And	Rendah	And	Tinggi	And	Rendah	Then	Buruk
35	if	Netral	And	Rendah	And	Tinggi	And	Sedang	Then	Buruk
36	if	Netral	And	Rendah	And	Tinggi	And	Tinggi	Then	Buruk
37	if	Netral	And	Sedang	And	Rendah	And	Rendah	Then	Sedang
38	if	Netral	And	Sedang	And	Rendah	And	Sedang	Then	Sedang
39	if	Netral	And	Sedang	And	Rendah	And	Tinggi	Then	Buruk
40	if	Netral	And	Sedang	And	Sedang	And	Rendah	Then	Sedang
41	if	Netral	And	Sedang	And	Sedang	And	Sedang	Then	Sedang
42	if	Netral	And	Sedang	And	Sedang	And	Tinggi	Then	Buruk
43	if	Netral	And	Sedang	And	Tinggi	And	Rendah	Then	Buruk
44	if	Netral	And	Sedang	And	Tinggi	And	Sedang	Then	Buruk
45	if	Netral	And	Sedang	And	Tinggi	And	Tinggi	Then	Buruk
46	if	Netral	And	Tinggi	And	Rendah	And	Rendah	Then	Buruk
47	if	Netral	And	Tinggi	And	Rendah	And	Sedang	Then	Buruk
48	if	Netral	And	Tinggi	And	Rendah	And	Tinggi	Then	Buruk
49	if	Netral	And	Tinggi	And	Sedang	And	Rendah	Then	Buruk
50	if	Netral	And	Tinggi	And	Sedang	And	Sedang	Then	Buruk
51	if	Netral	And	Tinggi	And	Sedang	And	Tinggi	Then	Buruk
52	if	Netral	And	Tinggi	And	Tinggi	And	Rendah	Then	Buruk
53	if	Netral	And	Tinggi	And	Tinggi	And	Sedang	Then	Buruk
54	if	Netral	And	Tinggi	And	Tinggi	And	Tinggi	Then	Buruk
55	if	Basa	And	Rendah	And	Rendah	And	Rendah	Then	Baik
56	if	Basa	And	Rendah	And	Rendah	And	Sedang	Then	Sedang

57	if	Basa	And	Rendah	And	Rendah	And	Tinggi	Then	Buruk
58	if	Basa	And	Rendah	And	Sedang	And	Rendah	Then	Sedang
59	if	Basa	And	Rendah	And	Sedang	And	Sedang	Then	Sedang
60	if	Basa	And	Rendah	And	Sedang	And	Tinggi	Then	Buruk
61	if	Basa	And	Rendah	And	Tinggi	And	Rendah	Then	Buruk
62	if	Basa	And	Rendah	And	Tinggi	And	Sedang	Then	Buruk
63	if	Basa	And	Rendah	And	Tinggi	And	Tinggi	Then	Buruk
64	if	Basa	And	Sedang	And	Rendah	And	Rendah	Then	Sedang
65	if	Basa	And	Sedang	And	Rendah	And	Sedang	Then	Sedang
66	if	Basa	And	Sedang	And	Rendah	And	Tinggi	Then	Buruk
67	if	Basa	And	Sedang	And	Sedang	And	Rendah	Then	Sedang
68	if	Basa	And	Sedang	And	Sedang	And	Sedang	Then	Sedang
69	if	Basa	And	Sedang	And	Sedang	And	Tinggi	Then	Buruk
70	if	Basa	And	Sedang	And	Tinggi	And	Rendah	Then	Buruk
71	if	Basa	And	Sedang	And	Tinggi	And	Sedang	Then	Buruk
72	if	Basa	And	Sedang	And	Tinggi	And	Tinggi	Then	Buruk
73	if	Basa	And	Tinggi	And	Rendah	And	Rendah	Then	Buruk
74	if	Basa	And	Tinggi	And	Rendah	And	Sedang	Then	Buruk
75	if	Basa	And	Tinggi	And	Rendah	And	Tinggi	Then	Buruk
76	if	Basa	And	Tinggi	And	Sedang	And	Rendah	Then	Buruk
77	if	Basa	And	Tinggi	And	Sedang	And	Sedang	Then	Buruk
78	if	Basa	And	Tinggi	And	Sedang	And	Tinggi	Then	Buruk
79	if	Basa	And	Tinggi	And	Tinggi	And	Rendah	Then	Buruk
80	if	Basa	And	Tinggi	And	Tinggi	And	Sedang	Then	Buruk
81	if	Basa	And	Tinggi	And	Tinggi	And	Tinggi	Then	Buruk

Proses inferensi menghasilkan himpunan fuzzy dengan output "Quality" yang kemudian dinegasikan menjadi nilai tunggal (defuzzifikasi) sehingga terbentuk skor numerik mutu air. Untuk evaluasi, label mutu sasaran ("Target") direpresentasikan secara numerik (misal 3 untuk "Baik" dan 6 untuk "Sedang" sebagaimana muncul pada data target), sehingga selisih antara skor keluaran Sistem Inferensi Fuzzy (SIF) dan target dapat dihitung sebagai Error dan MSE.

Tabel 2. Hasil Simulasi Python

Station	pH	TSS	Amonia	Deterjen	Quality	Mamdani Crisp (0-10)	Error	MSE
1	7.68	33.71	0.16	0.33	3	4.5	1.5	2.25
2	7.86	35.00	0.07	0.34	3	4.5	1.5	2.25
3	7.71	31.86	0.06	0.38	3	4.5	1.5	2.25
4	7.93	33.57	0.07	0.30	3	4.5	1.5	2.25
5	8.03	34.14	0.09	0.31	3	4.5	1.5	2.25
6	8.00	30.43	0.08	0.31	3	4.5	1.5	2.25
7	7.84	33.71	0.40	0.31	6	8.0	2	4
8	7.76	35.86	0.31	0.29	6	4.86	1.14	1,2996
9	7.35	37.86	0.07	0.26	3	3.15	0.15	0,0225
10	7.87	35.14	0.06	0.33	3	4.5	1.5	2.25
11	7.88	36.86	0.15	0.35	3	4.5	1.5	2.25
12	7.88	33.51	0.09	0.26	3	3.15	0.15	0,0225
13	8.13	34.71	0.07	0.37	3	4.50	1.5	2.25
14	8.16	34.86	0.13	0.33	3	4.50	1.5	2.25

Sebagai ukuran ringkas akurasi model, bagian ini menggunakan Mean Squared Error (MSE) untuk merangkum perbedaan antara skor Mamdani dan Quality pada tiap stasiun. Dengan mengkuadratkan selisih lalu merata-ratakannya, MSE menonjolkan kesalahan besar sekaligus menstabilkan pengaruh variasi kecil. Semakin rendah nilainya, semakin baik, dan 0 berarti modelnya sempurna.

$$TOTAL\ MSE = \frac{1}{M}(\hat{y}_i - y_i)^2 = \frac{1}{14}(27.83763) = 1.98$$

KESIMPULAN

Penerapan sistem inferensi fuzzy Mamdani dengan empat parameter kunci (pH, TSS, amonia, dan deterjen), 81 aturan berformat IF–THEN, serta proses defuzzifikasi berhasil menghasilkan skor mutu kontinu yang konsisten dengan label mutu target di tingkat stasiun, sekaligus mengurangi dampak perubahan kecil pada data pengukuran terhadap keputusan klasifikasi. Rekapitulasi hasil menunjukkan 12 dari 14 stasiun masuk kategori baik dan 2 stasiun sedang,

sehingga kondisi perairan pesisir dapat dinilai relatif baik namun memerlukan pemantauan berlanjut pada lokasi-lokasi yang cenderung memburuk.

DAFTAR PUSTAKA

Air, K., Lintas, S., Di, P., & Jawa, P. (2018). No Title. 18(1), 17–24.

Asrori, H. (n.d.). MONITORING KUALITAS PH DAN KEKERUHAN AIR LAUT DALAM MENJAGA EKOSISTEM TERUMBU KARANG MENGGUNAKAN " BIMASAKTI ." 7, 57–65.

Fakhrurroja, H., Triono, E., & Munandar, A. (2023). Journal of Mechatronics , Electrical Power , Water quality assessment monitoring system using fuzzy logic and the internet of things. 14(2), 198–207.

Gorelova, I., Bellini, F., & Ascenzo, F. D. (2023). Drinking Water Quality Assessment Using a Fuzzy Inference System Method : A Case Study of Rome (Italy).

Hermansyah, D. (2022). PENENTUAN STATUS MUTU AIR SUNGAI KAPUAS MENGGUNAKAN METODE. 10(2), 128–134.

Misbah Anuri, Sadrina, R. I. (2023). ANALISIS KUALITAS AIR BERSIH DENGAN LOGIKA FUZZY MAMDANI. 7, 163–172.

Novian, M. N., Walid, M., & Makruf, M. (2024). Implementasi Logika Fuzzy untuk Monitoring Tingkat Pencemaran Air Sungai berbasis Internet Of Things.