ITATS

SEMITAN

Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan

https://ejurnal.itats.ac.id/semitan

Model Fuzzy Logic pada Air Asam Tambang untuk Prediksi Pencemaran Sungai – *Literature Review*

Ardiawan *[1], Tedy Agung Cahyadi [1], Herlina Jayadianti [1], Rika Ernawati [1], Muhammad Iqbal Ansori [2], Ilham Firmansyah [3]

[1] Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, DIY, Indonesia

[2] Universitas Gadjah Mada, DIY, Indonesia

[3] Institut teknologi Bandung, Jawa Barat, Indonesia

*e-mail: ardiawan06@gmail.com

Info Artikel

Diserahkan:
16 Maret 2023
Direvisi:
18 Juli 2023
Diterima:
15 Agustus 2023
Diterbitkan:
31 Agustus 2023

Abstrak

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mencari model prediksi pencemaran air asam tambang pada sungai di berbagai bidang, sehingga perlu di-review kembali untuk membantu mengatasi proses pencemaran yang terjadi dalam perusahaan tambang. Review ini dilakukan dengan membandingkan hasil dari setiap model yang telah diuji dalam beberapa penelitian sebelumnya, menggunakan metode kuantitatif. Model yang dibandingkan dalam penelitian ini antara lain adalah Fuzzy Inference System (FIS) dan Fuzzy Inference System (FIS) Metode Mamdani. Hasil review ini menunjukkan bahwa model fuzzy logic memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode lain. Metode fuzzy logic dapat memberikan hasil yang tepat berdasarkan perancangan, implementasi, dan hasil pengujian baik dari sistem pendukung keputusan kualitas air asam tambang pada sungai berupa model Tsukamoto maupun Mamdani, yang dapat menentukan apakah kualitas air tersebut memenuhi baku mutu, TR, TS, atau TB. Oleh karena itu, model fuzzy logic sangat direkomendasikan untuk digunakan dalam perhitungan prediksi pencemaran air asam tambang pada sungai.

Kata kunci: Fuzzy Logic, Air Asam Tambang, Pencemaran, Sungai

Abstract

Extensive research has been conducted to develop a predictive model for acid mine drainage pollution in rivers across various sectors, necessitating a comprehensive review to aid in addressing the pollution challenges faced by mining companies. This review involved a comparative analysis of the results from different models tested in previous studies, employing quantitative methods. The study compared the Fuzzy Inference System (FIS) model and the FIS Mamdani Method. The review concluded that the fuzzy logic model offers several advantages over other methods. The fuzzy logic method can yield results based on the design, implementation, and testing of the decision support system for acid mine drainage water quality in rivers, using both the Tsukamoto and Mamdani models. These models can ascertain whether the water quality meets the standards or is lightly, moderately, or heavily polluted. Therefore, the fuzzy logic model is recommended for predicting acid mine drainage pollution in rivers.

Keywords: Fuzzy Logic, Acid Mining Drainage, Pollution, River

Pendahuluan

Air Asam Tambang (AAT) juga disebut batuan asam merupakan polutan lingkungan yang dapat merusak sumber daya air di wilayah pertambangan di seluruh dunia. Dimana penanganan tersebut diperlukan secara hukum, penanganan harus efisien dan berkelanjutan. Metode penanganan biasanya dibagi menjadi aktif, yang berarti ketergantungan pada penambahan bahan kimia alkali untuk menetralkan keasaman, atau pasif. Istilah perlakuan pasif berarti ketergantungan pada proses biologis, geokimia, dan gravitasi. Perawatan pasif tidak memerlukan perawatan konstan atau reagen kimia yang menjadi ciri perawatan AAT aktif.

Publikasi ini menyajikan panduan untuk desain sistem perawatan pasif untuk AAT. Penekanan kami adalah untuk menggambarkan dengan jelas mekanisme yang mengatur efektivitas dan kinerja penanganan sistem ini. Studi terdahulu mengenai penentuan status kualitas air telah dilaksanakan oleh Paramadyastha [1], yang berjudul "Studi Penentuan Status Mutu Air dengan Metode Storet dan Metode Indek Pencemaran di Waduk Sutami". Dalam studi tersebut, status kualitas air di waduk Sutami dianalisis dengan metode STORET yang melibatkan sembilan parameter, yakni BOD, COD, DO, TSS, pH, Amonia (NH3_N), fenol, minyak dan lemak, dan sianida (CN). Hasil penelitian tersebut mengkategorikan status mutu air ke dalam empat kriteria, yaitu: memenuhi baku mutu (kondisi baik), TR, TS, dan TB.

Studi lanjutan oleh Apriliani [2] menggunakan Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto dengan output berupa tingkat kompetensi kepribadian. Untuk menilai tingkat kepribadian, data skor dari komponen-komponen seperti pengalaman mengajar, penilaian dari atasan dan pengawas, pengalaman dalam pengurusan organisasi di bidang kependidikan dan sosial, serta penghargaan yang relevan dengan bidang pendidikan, digunakan. Penilaian skor menggunakan skala A (Kurang Baik), B (Cukup), C (Baik Sekali). Berdasarkan studi ini, metode Fuzzy Tsukamoto dapat digunakan untuk mengklasifikasikan data ke dalam beberapa kelas berdasarkan kriteria yang ditetapkan. Leelavathy [3] melakukan analisis kualitas air sungai dengan metode fuzzy dalam penelitiannya yang berjudul "Analisis Kualitas Air Sungai dengan Pendekatan Fuzzy: Studi Kasus Sungai Chunnambar di Pondicherry". Parameter yang digunakan adalah DO, BOD, pH, Coliform, dan suhu, dengan kualitas air diklasifikasikan ke dalam empat kelas: Sangat Baik, Baik Sekali, Baik, dan Tidak Layak.

Penelitian selanjutnya oleh Semiromi, Babaei [4] menerapkan logika fuzzy untuk mengklasifikasikan kualitas air Sungai Karoon di Iran. Parameter yang diukur meliputi DO, TDS, Kekeruhan, Nitrat, Fecal Coliform, pH, dan kualitas air diklasifikasikan ke dalam lima kelas: Sangat Baik, Baik, Cukup, Marginal, dan Buruk. Berdasarkan penjelasan dari beberapa penelitian sebelumnya, penulis mengusulkan penelitian dengan judul "Klasifikasi Kualitas Air Sungai Winongo Menggunakan Sistem Inferensi Fuzzy (FIS) Metode Mamdani". Dalam penelitian ini, untuk menentukan kualitas air sungai, digunakan 15 parameter yang meliputi Warna, TDS, TSS, BOD, COD, DO, pH, Klorin Bebas, Nitrat, Nitrit, Timbal, Coliform, E. coli, Fenol, dan Minyak & Lemak. Metode Fuzzy Mamdani diterapkan untuk mengklasifikasikan kualitas air sungai ke dalam empat kelas: Memenuhi Baku Mutu, Terpolusi Ringan (TR), Terpolusi Sedang (TS), dan Terpolusi Berat (TB).

Kajian Pustaka

Perbandingan Model *Fuzzy Inference System* (FIS) Metode Tsukomoto dan Metode Mamdani pada penelitian yang telah dilakukan Galuh Mazenda [5] dan Anggraeini [6] menunjukan bahwa kinerja FIS Metode Tskomoto dan Metode Mamdani memiliki pendekatan yang tidak terlalu jauh berbeda dimana FIS Tsukamoto dasar teori dan acuan dapat dilakukan dengan SPK, juga dapat mengkalisifikasikan kualitas air sungai juga dapat menggunakan Metode STORET begitu juga dengan Mamdani. Kesimpulan yang didapat dari penelitaian Anggraeni, dkk,, Tahun 2017, penggunaan Model FIS Mamdani lebih cocok digunakan pada klasifikasi penentuan parameter air sungai. Tabel 1 berisikan rangkuman terkait penelitian yang sejenis.

Tabel 1. Rangkuman Penelitian Sejenis

Nama Peneliti	Judul	Hasil
Galuh Mazenda dkk (2014) [5]	"Implementasi Fuzzy Inference System (FIS) Metode Tsukamoto Pada Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Kualitas Air Sungai"	▪ Aplikasi sistem Pendukung Keputusan dengan Metode Fuzzy Tsukamoto telah dibuat sesuai perancangan dan dapat digunakan dalam menentukan kualitas air sungai apakah sesuai baku mutu, TR, TS atau TB ▪ Hasil Pengujian akurasi dapat disimpulkan bahwa dari 60 data yang diuji, 90% terbukti adanya kesesuaian hasil perhitungan Sistem Pendukung Keputusan
Jose M. Davila dkk (2021) [7]	*"Application of a Fuzzy Logic Based Methodology to Validate the Hydrochemical Characterization and Determining Seasonal Influence of Watershed Affected by AMD"*	▪ Konsentrasi logam dipengaruhui oleh proses aliran pada musim hujan ditemukan konsentrasi yang jauh lebih tinggi dari pada musim. ▪ Peningkatan Pb ▪ pH minimum tinggi saat hujan ▪ Saat hujan kandungan atau kadar Fe meningkat terutama Zn, Cu, Co, Cd dan Al)
Khalid Waleed dkk (2019) [8]	*"Monitoring And Classification System of River Water Pollution Condittions With Fuzzy Logic Method"*	▪ Sensor pH – Data yang di dapat dari sensor pH berupa tingkat tegangan arus listrik berkisar dari 0 sampai 5 Volt. ▪ Sensor Turbidity – atas sensor tingkat kekruhan air data yang diterima beberapa tegangan berasal dari probe sensor, tegangan yang diterima berkisar 0 sampai 5 volt berdasarkan data kemudian untuk mendapatkan hasil kekurahan pada sensor, nilai paling rendah terdapat pada tegangan 2.5 Volt ▪ Sensor Temperatur – atau sensor suhu air akan menghasilkan data berbentuk digital yang ditentukan, pada sensor temperature nilai sensor berada dibawah 26 derajat Celsius maka air sungai dikatagorikan dingin, dikisaran 22.5 hingg 30.5 dikatakan normal sedangkan diatas 27.5 bisa dikatakan tinggi.
Wahyu Harianto (2017) [9]	*"Model Adaptif Neuro Fuzzy Inference System Berdasarkan pH, Temperature dan TSS untuk Prediksi Nilai COD"*	▪ Variable yang digunakan dalam penelitian ini adalah TSS, pH, temperature dan COD. ▪ Pembagian Variable Input dan Target; Input berupa X1 = TSS, X2 = pH dan X3 = Temperature hingga Target Y (t) = COD ▪ Hasil yang didapat juga dari Mode ANFIS yang diterapkan untuk prediksi COD dengan menggunakan variable TSS, pH dan Temperatur
Teresa Valente dan Carlos Leal Gomes (2008) [10]	*"Fuzzy Modelling of Acid Mine Drainage Environments Using Geochemical, Ecological and Mineralogical Indicators"*	▪ ValdR menyebutkan bahwa kelas kontaminasi yang tinggi menunjukan bobot (0.9) ▪ V7 lebih rendah dengan bobot (0.1) sedangkan ▪ V216 memiliki faktor bobot masing-masing sebesar 0.3, 0.5, dan 0.7
Javier Aroba dkk. (2007) [11]	*"Application of Fuzzy Logic and Data Mining Techniques as tools For Qualitative Interpretation of Acid Mine Drainage Processes"*	▪ Dari hasil pengujian didapatkan pH (3,5 hingga 2), rata2 pH dibawah baku mutu ada sedikit pH diatas 5 hingga 7) ▪ Parameter kmia diantaranya terdapat SiO2 dalam kondis rendah (dibawah baku mutu) ▪ PO4, rata-rata rendah hingga sangat rendah ▪ K dan Sr, rata-rata sampai tinggi ▪ Ca, Rendah ke tinggi, dengan beberapa point sangat tinggi Saat pH turun hampir semua elemen meningkat

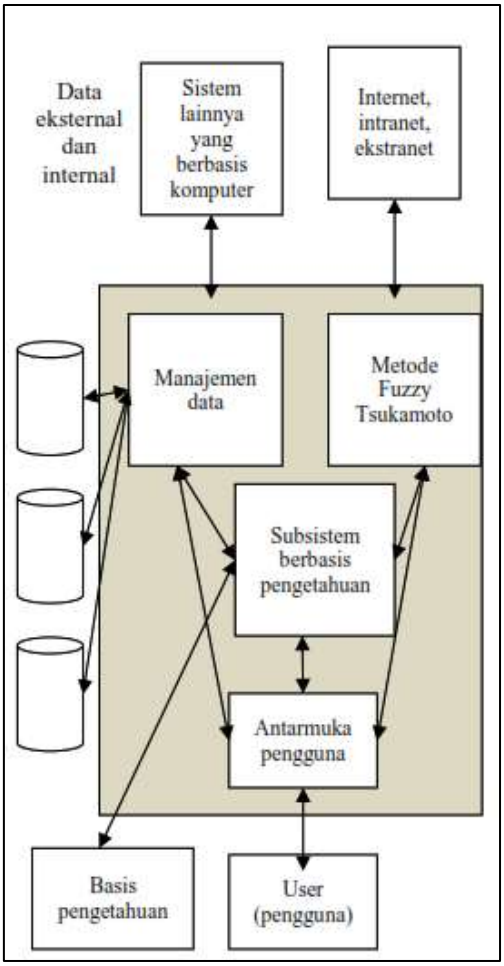
Metodologi

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan tinjauan pustaka. Tinjauan pustaka merupakan proses analisis kritis dan evaluasi terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang sejenis. Artikel-artikel yang ditinjau berkaitan dengan model fuzzy, fuzzy inference system (FIS) Metode Tsukamoto, fuzzy inference system (FIS) Metode Mamdani, dan Passive Treatment of Acid Mine Drainage. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, yaitu:

a. Tujuan dari penelitian ini adalah bersifat konsisten sehingga dapat diprediksi, berdasarkan pada parameter kualitas air sungai, dan bersifat unidimensional.
b. Variabel-variabel diteliti dan diukur menggunakan alat yang telah distandarkan dan tidak bersifat subjektif.

Hasil dan diskusi

Penelitian yang dijalankan oleh Anggraeni pada tahun 2017 [6] menjelaskan penggunaan Metode FIS Mamdani, sementara Galuh memaparkan penggunaan FIS Tsukamoto dalam sistem pendukung keputusan untuk menilai kualitas air sungai. Evaluasi kualitas air sungai juga bisa dilaksanakan dengan Metode STORET yang masih dioperasikan secara manual dengan mengkalkulasi tiap data parameter uji secara berurutan, sehingga membutuhkan waktu yang panjang dan biaya uji yang tinggi. Implementasi teknologi informasi, seperti sistem pendukung keputusan, bisa memberi solusi bagi pengguna dalam mendukung proses pengambilan keputusan yang berkaitan dengan evaluasi kualitas air sungai. Rancangan sistem dirumuskan berdasarkan hasil pengumpulan data dan analisis kebutuhan yang telah dijalankan. Rancangan sistem mengilustrasikan desain dari model Fuzzy Tsukamoto sebagai metode untuk menilai kualitas air sungai. Arsitektur SPK untuk evaluasi kualitas air sungai bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Sistem Pendukung Keputusan (SPK) untuk Menentukan Kualitas Air Sungai Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto [12]

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Kalasifikasi Kualitas Air

No	Data Air Sungai		Metode STORET		Metode Mamdani	
	Pengamatan	Tahun	Skor	Klasifikasi	Hasil Defuzzufikasi	Klasifikasi
1	1	2007	-120	TB	41,5	TB
2	2	2007	-120	TB	33,7	TB
3	3	2007	-30	TS	12,67	TS
4	1	2008	-28	TS	11,58	TS
5	2	2008	-24	TS	15	TS
6	3	2008	-35	TB	33	TB
7	1	2009	-37	TB	31,75	TB
8	2	2009	-31	TB	34	TB
9	3	2009	-32	TB	36	TB
10	1	2010	-42	TB	40,53	TB
11	2	2010	-20	TS	12,39	TS
12	3	2010	-35	TB	44,125	TB
13	1	2011	-10	TR	6,25	TR
14	2	2011	-35	TB	49,68	TB
15	3	2011	-54	TB	35,185	TB
16	1	2012	-100	TB	36,19	TB
17	2	2012	-6	TR	7,762	TR
18	3	2012	-45	TB	41,71	TB
19	1	2013	-102	TB	39,79	TB
20	2	2013	-98	TB	41,98	TB
21	3	2013	-53	TB	32,01	TB
22	1	2014	-22	TS	20	TS
23	2	2014	-79	TB	38,02	TB
24	3	2014	-31	TB	20,30	TB
25	1	2015	-10	TR	6,19	TR
26	2	2015	-37	TB	39	TB
27	3	2015	-27	TS	20	TS
28	1	2016	-101	TB	49,80	TB
29	2	2016	-97	TB	35,19	TB
30	3	2016	-49	TB	20,66	TB

TB: Tercemar berat, TS: Tercemar sedang, TR: Tercemar ringan

Riset terdahulu mengenai evaluasi kualitas air telah dikerjakan oleh Paramadyastha [1] dengan judul 'Analisis Status Kualitas Air dengan Metode Storet dan Metode Indeks Polusi di Waduk Sutami'. Dalam riset tersebut, kualitas air sungai di Waduk Sutami diteliti menggunakan metode STORET dengan sembilan parameter, yaitu: BOD, COD, DO, TSS, pH, Amonia (NH3_N), fenol, minyak dan lemak, dan sianida (CN). Hasil riset tersebut mengkategorikan status kualitas air ke dalam empat kriteria: sesuai standar (kondisi baik), sedikit terkontaminasi (TR), kontaminasi sedang (TS), dan kontaminasi tinggi (TB).

Riset berikutnya oleh Mazenda [5] menerapkan Sistem Inferensi Fuzzy (FIS) Metode Tsukamoto pada Sistem Pendukung Keputusan untuk Evaluasi Kualitas Air Sungai. Riset ini menggunakan tujuh parameter: TSS, BOD, COD, DO, pH, Fenol, dan Minyak dan Lemak untuk evaluasi kualitas air sungai dan mengkategorikannya ke dalam empat kelas: sesuai standar (kondisi baik), TR, TS, dan TB.

Inferensi fuzzy adalah proses penilaian output pada setiap aturan yang dihubungkan dengan aturan IF-THEN. Metode inferensi fuzzy yang diterapkan dalam riset ini adalah metode Mamdani, yang memiliki

keunggulan dalam pemahaman dan perhitungan yang sederhana. Hasil fuzzifikasi digunakan untuk penalaran fuzzy dengan metode Mamdani menggunakan fungsi implikasi minimum. Inferensi untuk riset ini didapatkan dari kumpulan dan korelasi antar aturan, dengan metode maksimum digunakan untuk inferensi sistem fuzzy. Hasil defuzzifikasi untuk data sungai 1 adalah 41,5, yang berada dalam interval [29 50], sehingga tingkat kualitas air sungai pada data sungai 1 adalah TB. Selanjutnya, hasil defuzzifikasi dianalisis menggunakan Matlab R2013a. Analisis data bertujuan untuk mengkategorikan kriteria kualitas air sungai dengan model fuzzy. Langkah-langkah yang dijalankan adalah:

1. Mengidentifikasi data terkait kualitas air di sungai,
2. Menetapkan nilai input dan output,
3. Menyusun kumpulan universal untuk variabel input dan output,
4. Menyusun kumpulan fuzzy untuk input dan output,
5. Membuat aturan-aturan fuzzy berdasarkan nilai keanggotaan dari data,
6. Melaksanakan inferensi fuzzy,
7. Melaksanakan proses defuzzifikasi,
8. Melakukan uji validasi untuk mengecek keakuratan data.

Tabel 2 menunjukkan hasil perbandingan klasifikasi evaluasi kualitas air sungai berdasarkan Metode STORET dan FIS Mamdani.

Akurasi sistem fuzzy berdasarkan Tabel 1 menunjukkan klasifikasi dalam evaluasi kualitas air sungai menggunakan metode Fuzzy Mamdani dibandingkan dengan hasil perhitungan kualitas air sungai metode STORET. maka dapat dihitung akurasi sistem sebagai berikut:

$$\text{Akurasi } = \frac{(30-2)}{30}\ x\ 100\% = 93{,}333\%$$

Pencemaran air merupakan isu lingkungan yang serius dan memerlukan pemantauan dan prediksi yang akurat untuk mengambil tindakan pencegahan. Air asam tambang adalah salah satu penyebab utama pencemaran sungai, yang dapat mengancam keberlangsungan ekosistem sungai dan kesehatan manusia. Model fuzzy logic dapat digunakan untuk prediksi pencemaran sungai akibat air asam tambang. Fuzzy logic adalah pendekatan yang digunakan untuk mengatasi masalah yang memiliki ketidakpastian dan ambigu. Model ini dapat membantu dalam prediksi tingkat pencemaran dengan mempertimbangkan berbagai parameter yang terkait dengan air asam tambang seperti pH, konsentrasi logam, dan debit air.

Dalam konteks ini, beberapa studi terkait dapat dihubungkan dengan topik ini. Misalnya, Hisan et al. [13] membahas tentang manifestasi air tanah di daerah geotermal Gedongsongo, Semarang, Indonesia. Penelitian ini dapat memberikan wawasan tentang karakteristik air tanah di daerah tersebut yang dapat berpengaruh pada kualitas air sungai di sekitarnya. Sari et al. [14] membahas kualitas air tanah di daerah karst Ponjong, Gunungkidul, Yogyakarta. Penelitian ini penting untuk memahami kualitas air tanah di daerah karst yang sering terpengaruh oleh aktivitas manusia seperti penambangan. Reynaldi [16] membahas desain sistem drainase tambang batubara di PT. Tebo Agung International Site Project, Jambi. Desain sistem drainase yang efektif dapat mengurangi dampak pencemaran air asam tambang terhadap sungai di sekitarnya. Yuliani et al. [17] membahas tentang penilaian jejak karbon penggunaan gas LPG di industri kecil. Penelitian ini relevan untuk memahami dampak penggunaan bahan bakar fosil terhadap lingkungan, termasuk produksi air asam tambang. Widiatmoko et al. [15] membahas model konseptual lapangan geotermal Wae Sano berdasarkan data geologi dan geo kimia. Pemahaman tentang geologi dan geo kimia daerah tersebut sangat penting untuk memprediksi dan mengelola dampak lingkungan dari ekstraksi panas bumi, termasuk produksi air asam yang dapat mencemari sungai. Widiatmoko [18] juga melakukan analisa geokimia dengan analisis multivariat untuk mengetahui tipe mata air panas di lapangan panas bumi Mapos, Nusa Tenggara Timur. Penelitian ini relevan karena air panas bumi dapat mengandung berbagai elemen kimia yang dapat mencemari air sungai jika tidak dikelola dengan baik.. Mayasari & Yulfiah [19] menjelajahi hubungan antara kondisi atmosfer dan prevalensi hujan asam di Bandara Internasional Juanda, Sidoarjo, Indonesia. Penelitian ini dapat memberikan wawasan tentang hubungan antara kondisi atmosfer dan produksi air asam yang dapat mempengaruhi kualitas air sungai.

Secara keseluruhan, model fuzzy logic dapat digunakan untuk prediksi pencemaran sungai akibat air asam tambang dengan mempertimbangkan berbagai parameter yang terkait. Penelitian terkait yang telah disebutkan dapat memberikan wawasan tambahan tentang karakteristik air tanah, desain sistem drainase tambang, penggunaan bahan bakar fosil, dan hubungan antara kondisi atmosfer dan hujan asam yang dapat berpengaruh pada kualitas air sungai.

Kesimpulan

Penggunaan metode Fuzzy Mamdani dalam menentukan kualitas air sungai tidak hanya penting dalam konteks lokal sungai Winongo, tetapi juga memiliki implikasi yang lebih luas. Keberhasilan metode ini dalam mengklasifikasikan kualitas air dengan akurasi tinggi (93,333% kesesuaian dengan metode STORET) menunjukkan potensi aplikasi metode ini dalam pengelolaan sumber daya air di berbagai lokasi lain. Dengan mampu mengidentifikasi tingkat pencemaran air dengan lebih akurat, otoritas lokal dan nasional dapat mengambil tindakan yang lebih tepat dan tepat waktu untuk mengatasi masalah pencemaran air, seperti memperketat regulasi terhadap pembuangan limbah industri atau meningkatkan pengolahan air limbah. Selain itu, metode ini juga dapat membantu dalam perencanaan pengelolaan sumber daya air yang lebih berkelanjutan, dengan mengidentifikasi area yang memerlukan perlindungan khusus atau perbaikan. Secara keseluruhan, penggunaan metode Fuzzy Mamdani dalam menentukan kualitas air sungai dapat berkontribusi signifikan terhadap pengelolaan sumber daya air yang lebih efektif dan berkelanjutan, yang pada gilirannya dapat membantu dalam menjaga kesehatan ekosistem sungai dan masyarakat yang bergantung pada mereka.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih yang tulus kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, yang telah memberikan fasilitas dan dukungan penting untuk pelaksanaan penelitian ini. Kedermawanan dan komitmen mereka terhadap pengembangan ilmu pengetahuan sangat dihargai dan berperan penting dalam mencapai tujuan penelitian ini.

References:

[1] A. Paramadyastha, “Studi Penentuan Status Mutu Air dengan Metode Storet dan Metode Indek Pencemaran di Waduk Sutami,” Malang, 2011.

[2] M. I. Apriliyani, H. Mustafidah, and A. Dan, “Fuzzy Inference System untuk Menentukan Tingkat Kompetensi Kepribadian Guru (Fuzzy Inference System to Determine the Personality Competency Level of Teachers),” *Juita*, vol. 2, p. 123, 2012, [Online]. Available: https://media.neliti.com/media/publications/136429-ID-fuzzy-inference-system-untuk-menentukan.pdf

[3] L. K. R., V. Nirmala, and V. Nageshwaran, “River water quality analysis using fuzzy approach a case study of Chunnambar river, Pondicherry.,” *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 7.2, 2016.

[4] F. Babaei Semirom, A. H. Hassan, A. Torabia, A. R. Karbass, and F. Hosseinzadeh Lotf, “Water quality index development using fuzzy logic: A case study of the Karoon River of Iran,” *African J. Biotechnol.*, vol. 10, no. 50, pp. 10125–10133, 2011, doi: 10.5897/ajb11.1608.

[5] D. C. mazenda galuh, Soebroto Andy Arief, “Implementasi Fuzzy Inference System (Fis) Metode Tsukamoto Pada Sistem Pendukung Keputusan,” *J. Environ. Eng. Sustain. Technol.*, vol. 01, no. 02, pp. 92–103, 2014.

[6] N. Anggraeni, G. Arifiana, and A. M. Abadi, “Klasifikasi Kualitas Air Sungai Winongo Menggunakan Fuzzy Inference System (FIS) Metode Mamdani,” *Progr. Stud. Mat. FMIPA UNY*, no. 2014, pp. 161–170, 2017.

[7] J. M. Davila *et al.*, “Application of a fuzzy logic based methodology to validate the hydrochemical characterization and determining seasonal influence of a watershed affected by acid mine drainage,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, no. 9, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/ijerph18094693.

[8] A. S. Khalid Waleed, P. D. Kusuma, and C. Setianingsih, “Monitoring and classification system of river water pollution conditions with fuzzy logic,” *Proc. - 2019 IEEE Int. Conf. Ind. 4.0, Artif. Intell. Commun. Technol. IAICT 2019*, pp. 112–117, 2019, doi:

10.1109/ICIAICT.2019.8784857.
[9] W. Harianto, “Model Adaptif Neuro Fuzzy Inference System Berdasarkan Ph, Temperatur Dan Tss Untuk Prediksi Nilai Cod,” *SMARTICS J.*, vol. 3, no. 1, pp. 12–16, 2017, doi: 10.21067/smartics.v3i1.1931.
[10] T. M. Valente and C. L. Gomes, “Fuzzy modelling of acid mine drainage environments using geochemical, ecological and mineralogical indicators,” *Environ. Geol.*, vol. 57, no. 3, pp. 653–663, 2009, doi: 10.1007/s00254-008-1344-7.
[11] J. Aroba, J. A. Grande, J. M. Andújar, M. L. De La Torre, and J. C. Riquelme, “Application of fuzzy logic and data mining techniques as tools for qualitative interpretation of acid mine drainage processes,” *Environ. Geol.*, vol. 53, no. 1, pp. 135–145, 2007, doi: 10.1007/s00254-006-0627-0.
[12] E. Turban, J. E. Aronson, and T.-P. Liang, “Decision Support System and Intelligent System.” p. 936, 2010.
[13] Hisan, N. K., Jasaputra, L. D., Bernaldo, P. A., Karlina, N. A. Y. P., & Arhananta, A. (2020). Hydrostructure of Groundwater Manifestation of Gedongsongo Geothermal Ungaran, Semarang, Central Java, Indonesia. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, *1*(1), 31-39.
[14] Sari, A. S., Bahagiarti, S., Suharsono, S., & Prasetyadi, C. (2020). Groundwater quality in Ponjong Karst, Gunungkidul Regency, Special Region of Yogyakarta. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, *1*(1), 7-11.
[15] Widiatmoko, F. R., Hadi, M. N., Kusnadi, D., Iswahyudi, S., & Fadlin, F. (2020). The conceptual model of Wae Sano Geothermal field based on geology and geochemistry data. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, *1*(1), 56-63.
[16] Reynaldi, M. (2021). Design of Drainage System Coal Mine at PT. Tebo Agung International Site Project, Semambu Village, Sumay District, Tebo Regency, Jambi. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, *1*(2), 64-70.
[17] Yuliani, A. R., Sari, M. M., & Suryawan, I. W. K. (2023). Carbon Footprint Assessment of LPG Gas Usage in Small Industries: A Case Study of Sami Laris Swalayan Shopping Center. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, *3*(2), 98-103.
[18] Widiatmoko, F. R. (2019). Pendekatan analisa geokimia dengan multivariate analysis untuk mengetahui tipe mata air panas: studi kasus lapangan panas bumi mapos, nusa tenggara timur. *Jurnal IPTEK*, *23*(2), 71-78.
[19] Mayasari, A., & Yulfiah, Y. (2023). Exploring the link between Atmospheric conditions and Acid rain prevalence: a 12-year study at Juanda International Airport, Sidoarjo, Indonesia. *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, *3*(2), 141-147.