



**PENGEMBANGAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN CERDAS
INDUSTRI PERIKANAN**

KUALIFIKASI

FIRDA AMALIA

99223123

**PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS GUNADARMA
2024**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan berkat-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Proposal Disertasi yang berjudul “Pengembangan Sistem Pendukung Keputusan Cerdas Industri Perikanan” ini tepat pada waktu yang telah ditentukan. Proposal Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Doktor Teknologi Informasi (S3) pada Program Doktor, Universitas Gunadarma.

Proses penyusunan Proposal Disertasi ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan dan pengarahan yang sangat berharga. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Proposal Disertasi ini kepada:

1. Yayasan Pendidikan Gunadarma yang telah memberikan beasiswa kepada Penulis untuk melanjutkan studi Program Doktor Teknologi Informasi di Universitas Gunadarma.
2. Prof. Dr. E. S. Margianti, SE., MM., dan Prof. Suryadi H.S., S.Si., MMSI., selaku Rektor dan Wakil Rektor II Universitas Gunadarma yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan kepada Penulis untuk melanjutkan studi Program Doktor Teknologi Informasi di Universitas Gunadarma.
3. Prof. Dr. Sarifuddin Madenda, S.Si., D.E.A., selaku Ketua Program Doktor Teknologi Informasi Universitas Gunadarma yang telah memberikan motivasi untuk menyelesaikan proposal penelitian ini.
4. Prof. Dr. Dewi Agushinta Rahayu, S.Kom, M.Sc., selaku promotor yang selalu meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan masukan yang sangat bermanfaat bagi Penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini dengan rasa tanggung jawab.

5. Dr. Sulisty Puspitodjati, S.Si., M.Sc., selaku ko promotor yang selalu meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan masukan yang sangat bermanfaat bagi Penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini dengan rasa tanggung jawab.
6. Dr. Syarifuddin Nasution, S.Pi., M.T., selaku ko promotor yang selalu meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan masukan yang sangat bermanfaat bagi Penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini dengan rasa tanggung jawab
7. Orang tua dan adik yang selalu memberikan doa, dukungan baik semangat maupun materil, sehingga Penulis mampu menyelesaikan Proposal ini.

Jakarta, 19 Juli 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Batasan Masalah.....	8
1.4 Tujuan Penelitian	8
1.4 Kontribusi dan Manfaat Penelitian.....	9
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Industri Perikanan	10
2.2 Kualitas Air Industri Perikanan.....	12
2.3 Parameter Kualitas Air	13
2.4 Klasifikasi <i>Fuzzy Logic</i>	14
2.5 Exploratory Data Analysis	15
2.6 Artificial Intelligence (AI)	17
2.7 Genetic Algorithm.....	17
2.8 Feature Engineering	18
2.9 Multi Criteria Decision Making	19
2.10 Sistem Pengambilan Keputusan (Decision Support System)	22
2.11 Penelitian Terdahulu	23
2.12 Diagram Fishbone	27
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tahapan Penelitian	28
3.2 Collection dan Preparation Data	29

3.3	Preprocessing Data.....	35
3.4	Optimasi Parameter Menggunakan Algoritma AI	35
3.5	Integrasi Multi Criteria Decision Making	36
3.6	Pengembangan DSS Cerdas Industri Perikanan	38
3.7	Jadwal Kegiatan	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Tahap 1 Colection dan Preparation Data	40
4.1.1	Visualisasi Fuzzification Masing-Masing Variabel	40
4.1.2	Labeling Dataset.....	43
4.1.3	Exploration Data Analysis	46
DAFTAR PUSTAKA		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fishbone Usulan Penelitian.....	27
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	28
Gambar 3.2 Lima Baris Pertama Dari Dataset Parameter Air	29
Gambar 3.3 Tahapan Exploration Data Analysis.....	35
Gambar 3.4 Tahapan Preprocessing Data	35
Gambar 3.5 Conceptual Framework Dss	37
Gambar 3.6 Tahapan Desain Sistem	38
Gambar 4.1 Visualisasi Fungsi Keanggotan Fuzzy Untuk Temperature.....	40
Gambar 4.2 Visualisasi Fungsi Keanggotan Fuzzy Untuk pH	41
Gambar 4.3 Visualisasi Fungsi Keanggotan Fuzzy Untuk DO	41
Gambar 4.4 Visualisasi Fungsi Keanggotan Fuzzy Untuk Ammonia	42
Gambar 4.5 Visualisasi Fungsi Keanggotan Fuzzy Untuk Nitrate	43
Gambar 4.6 Output Visualisasi Klasifikasi Berdasarkan Fish Species	45
Gambar 4.7 Output Statistik Deskriptif	46
Gambar 4.8 Output Visualisasi Boxplot Outliers Temp	48
Gambar 4.9 Output Visualisasi Histogram Skewness Temp	49
Gambar 4.10 Output Visualisasi Boxplot Outliers pH	49
Gambar 4.11 Output Visualisasi Histogram Skewness pH.....	50
Gambar 4.12 Output Visualisasi Boxplot Outliers DO.....	50
Gambar 4.13 Output Visualisasi Histogram Skewness DO.....	51
Gambar 4.14 Output Visualisasi Boxplot Outliers Ammonia	52
Gambar 4.15 Output Visualisasi Histogram Skewness Ammonia	52
Gambar 4.16 Output Visualisasi Boxplot Outliers Nitrate	53
Gambar 4.17 Output Visualisasi Histogram Skewness Nitrate	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Standar Parameter Kualitas Air Tawar	13
Tabel 2.2	Perbandingan Penelitian.....	25
Tabel 3.1	Kelas Parameter Kualits Air.....	30
Tabel 3.2	Definisi Fungsi Keanggotaan.....	30
Tabel 3.3	Rentang Nilai Toleransi Ikan	32
Tabel 3.4	Skenario Untuk Melakukan Labeling Dataset Kualitas Air.....	33
Tabrl 3.5	Jadwal Kegiatan	39
Tabel 4.1	Output Informasi Dasar Dari Dataset Kualitas Air	43
Tabel 4.2	Output Informasi Dasar Dari Dataset Kualitas Air Yang Diseleksi	44
Tabel 4.3	Output Informasi Lima Baris Pertama Klasifikasi Fuzzy Logic Temp	44
Tabel 4.4	Output Informasi Lima Baris Pertama Klasifikasi Fuzzy Logic pH....	44
Tabel 4.5	Output Informasi Lima Baris Pertama Klasifikasi Fuzzy Logic DO ...	45
Tabel 4.6	Output Informasi Lima Baris Pertama Klasifikasi Fuzzy Logic Ammonia	45
Tabel 4.7	Output Informasi Lima Baris Pertama Klasifikasi Fuzzy Logic Nitrate.....	45
Tabel 4.8	Output Informasi Dasar Dari Final Classified Data.....	47
Tabel 4.9	Output Identifikasi Missing Values	47

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Artificial Intelligence (AI = Kecerdasan Artifisial) dapat didefinisikan sebagai penerapan pemrograman komputer untuk meniru kemampuan kognitif dan tindakan manusia (Konar, A., 2018). AI dimanfaatkan untuk menyelesaikan atau memberikan solusi terhadap berbagai permasalahan yang terkait dengan kecerdasan tersebut. Peningkatan pesat dalam kemampuan mesin membuat fokus juga bergeser menuju kebutuhan sistem komputerisasi yang mampu memaparkan alasan di balik keputusan yang diambil, minimal hingga batas tertentu. Selain itu, terdapat kesadaran yang meningkat bahwa data dan pengetahuan dalam kehidupan nyata seringkali bersifat tidak pasti (Garibaldi, J. M., 2019).

Sistem berbasis *fuzzy logic* menyediakan dukungan keputusan efektif dalam mengatasi ketidakpastian dengan menawarkan representasi yang jelas tentang pengetahuan ambigu dan proses inferensi yang terlibat (Garibaldi, J. M., 2019). *Fuzzy logic* merupakan salah satu teknik dalam AI yang memungkinkan sistem berpikir lebih mirip manusia dengan mengolah informasi yang ambigu atau tidak pasti. *Fuzzy logic* menggunakan konsep keanggotaan yang tidak hanya terbatas pada nilai biner (0 atau 1) tetapi berada pada spektrum kontinu antara keduanya (Zadeh, L. A., 2023). Sistem inferensi *fuzzy* dapat digunakan untuk klasifikasi dengan membagi input menjadi kategori berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan (Jiménez, F., Martínez, C., Marzano, E., Palma, J. T., Sánchez, G., & Sciavicco, G., 2019). Penelitian yang menggunakan teknik *fuzzy logic* klasifikasi untuk menghasilkan model klasifikasi telah banyak dilakukan dalam berbagai bidang seperti kedokteran (Das, H., Naik, B., & Behera, H. S., 2020; Bressan, G. M., Azevedo, B. C. F. D., & Souza, R. M. D., 2020), pertanian (Kale, S. S., & Patil, P. S., 2019; Urbieto Parrazales, R., Zagaceta Álvarez, M. T., Aguilar Cruz, K. A., Palma Orozco, R., & Fernández Muñoz, J. L., 2021), perikanan (Teniwut, W., Hamid, S., & Makailipessy, M., 2019; Francisco, H. R.,

Fabrício Corrêia, A., & Feiden, A., 2019), bisnis (Pislaru, M., Herghiligu, I. V., & Robu, I. B., 2019; Saeed Iranmanesh, M. I., Norallah Salehi, A., & Seyyed Abdolmajid Jalaei, B., 2021) dan pendidikan (Rajeswari, A. M., & Deisy, C., 2019; Izvozchikova, V. V., Tlegenova, T. E., & Markovin, V. V., 2022). Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan klasifikasi *fuzzy logic* dinyatakan telah menunjukkan kemampuan signifikan dalam mengelola data yang ambigu dan tidak pasti. Namun, masih memerlukan peningkatan lebih lanjut untuk mengoptimalkan klasifikasi agar dapat beradaptasi dan berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi dan aplikasi.

Parameter *fuzzy logic* seperti fungsi keanggotaan, jumlah aturan, dan teknik defuzzifikasi secara substansial mempengaruhi performa dan keakuratan klasifikasi (Barsacchi, M., Bechini, A., Ducange, P., & Marcelloni, F., 2019; Tvoroshenko, I. S., & Gorokhovatskyi, V. O., 2020). Kesesuaian parameter dengan karakteristik spesifik data yang dihadapi sangat menentukan efektivitas model. Algoritma optimasi muncul sebagai komponen kritis dalam penelitian guna meningkatkan keefektifitasan sebuah model (Abdolrasol, M. G., Hussain, S. S., Ustun, T. S., Sarker, M. R., Hannan, M. A., Mohamed, R., Ali, J. A., Mekhilef, S., and Milad, A., 2021). Algoritma optimasi memungkinkan mesin secara otomatis menyesuaikan parameter atau struktur dalam mencari solusi optimal dari fungsi objektif yang kompleks, seringkali dalam kondisi yang ditandai dengan ketidakpastian atau variabilitas besar (Saber, M., Abdelhamid, A. A., & Ibrahim, A., 2023).

Sektor produksi pangan hewani yang mengalami pertumbuhan pesat saat ini adalah perikanan. Meningkatnya jumlah penduduk dan stagnasinya produksi perikanan alamiah, pengembangan industri perikanan menjadi suatu keharusan untuk memastikan penyediaan produk perairan yang memadai untuk memenuhi kebutuhan masyarakat (Gao, G., Xiao, K. & Chen, M., 2019). Angka kematian yang paling tinggi dalam industri perikanan disebabkan oleh buruknya kualitas air. Hal tersebut dikarenakan kualitas yang buruk dapat berdampak negatif pada kesehatan dan produktivitas ikan. Berdasarkan hasil eksperimen menggunakan tiga tambak ikan swasta dengan pasokan air yang berbeda, dilakukan pengukuran kualitas air yang melibatkan parameter suhu

air, oksigen terlarut (DO), pH, Amonia, Nitrit dan jumlah bakteri. Kualitas air yang buruk dan investasi parasit, yang dapat bertindak sebagai pemicu stres, memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan dan produktivitas ikan. Penelitian ini menegaskan bahwa produktivitas ikan dapat ditingkatkan dengan kualitas air di tambak pada tingkat yang optimal (El Bably, M.A., Emeash, H.H. & N Mohamed, A., 2010). Lingkungan akuatik dapat menjadi berbahaya, bukan hanya karena efek langsung organisme yang mendiaminya, tetapi juga karena kualitas air yang digunakan (Demeke, A. & Tassew, A., 2016).

Nilai parameter air sangat mempengaruhi pertumbuhan, kelangsungan hidup perilaku, dan fisiologi ikan. Petani ikan harus mengelola sumber daya air agar lebih optimal (Setiadi, E., Taufik, I., Widyastuti, Y.R., Ardi, I. & Puspaningsih, D., 2019; Wang, C., Jiang, C., Gao, T., Peng, X., Ma, S., Sun, Q., Xia, B., Xie, X., Bai, Z., Xu, S. & Zhuang, X., 2022). Setiap spesies ikan memiliki toleransi berbeda terhadap variasi nilai parameter air (Wang, X.N., Ding, H.Y., He, X.G., Dai, Y., Zhang, Y. & Ding, S., 2018; Saedudin, R.R., Kasim, S., Mahdin, H., Sutoyo, E., Yanto, I.T.R., Hassan, R. & Ismail, M.A., 2018). Namun, banyak petani ikan yang belum memahami nilai toleransi untuk dapat mengoptimalkan kondisi air sesuai dengan kebutuhan spesifik jenis ikan yang dibudidayakan.

Kondisi parameter air yang tidak sesuai berdampak negatif pada produksi, profitabilitas, dan keberlanjutan industri perikanan. Vibriosis adalah salah satu penyakit yang sering menyebabkan kematian massal pada udang, ikan, dan kerang-kerangan yang dibudidayakan, terkait erat dengan faktor kualitas air dan manajemen tambak (Ina-Salwany, M.Y., Al-saari, N., Mohamad, A., Mursidi, F.A., Mohd-Aris, A., Amal, M.N.A., Kasai, H., Mino, S., Sawabe, T. & Zamri-Saad, M., 2019). Upaya intensifikasi dalam sistem produksi ikan dan peningkatan perhatian petani ikan terhadap air yang digunakan sangat penting untuk mencegah kematian ikan (Abdel-Tawwab, M., Monier, M.N., Hoseinifar, S.H. & Faggio, C., 2019).

Penelitian klasifikasi kualitas air perikanan telah dilakukan selama beberapa tahun terakhir dengan menerapkan metode *fuzzy logic* klasifikasi guna menangani

ketidakpastian dan variabilitas kondisi air, seperti penelitian “*Water quality index using fuzzy logic Utcubamba River, Peru*” bertujuan untuk mengembangkan indeks kualitas air berbasis *fuzzy logic* untuk klasifikasi kualitas air sungai dengan menggunakan variabel seperti pH, *temperature*, DO (*Disolved Oxygen*), kekeruhan, dan bahan organik. Meskipun indeks ini efektif dalam mengklasifikasikan kualitas air dari pengamatan terbatas, keoptimalannya tidak mencukupi untuk semua kondisi sungai, khususnya saat terjadi perubahan parameter yang dinamis. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan tuning parameter *fuzzy* dan eksplorasi algoritma lain untuk peningkatan akurasi (Quiñones-Huatangari, L., Ochoa T, L., Milla-Pino, M. E., Bazán C, J., Gamarra T, O., & Rascón, J., 2020).

Penelitian “*Evaluation of Aquaculture Water Quality Based on Improved Fuzzy Logic*” mengusulkan penggunaan sistem *fuzzy logic* yang diperbaiki untuk menilai kualitas air akuakultur dengan mempertimbangkan variasi temporal dan spasial. Parameter yang terlibat adalah pH, *temperature*, DO dan amonia. Hasilnya menunjukkan peningkatan akurasi dalam evaluasi kualitas air. Namun, sistem ini memerlukan tuning terus-menerus untuk menjaga akurasinya, dan direkomendasikan penggunaan algoritma *hybrid* yang mengkombinasikan *fuzzy logic* dengan neural networks (You, G., Xu, B., Su, H., Zhang, S., Pan, J., Hou, X., Li, J and Ding, R., 2021).

Penelitian “*System based on fuzzy logic for diagnosis of water quality for the classification of Nile tilapia*” menunjukkan penggunaan *fuzzy logic* yang efektif dalam klasifikasi kualitas air untuk ikan nila, dengan parameter seperti *temperature* dan pH. Sehingga sistem ini cukup memadai, namun belum melibatkan parameter air yang lainnya dan diperlukan *tuning* untuk mempertahankan akurasi klasifikasi di berbagai kondisi air, dengan rekomendasi untuk eksplorasi algoritma lain atau pendekatan *hybrid* (Castro Junior, S. L., Lamarca, D. S. F., Kraetzer, T. L., Balthazar, G. Da R., & Caneppele, F. De L., 2022).

Penelitian “*Fuzzy Logic-Based Adaptive Aquaculture Water Monitoring System*” bertujuan membangun sistem pemantauan kualitas air akuakultur yang adaptif

dengan menggunakan *fuzzy logic* Mamdani. Penelitian ini melibatkan parameter seperti *temperature*, pH, dan DO. Sistem ini berhasil memantau kualitas air secara *real-time* dengan akurasi yang meningkat. Kelemahan utamanya adalah kebutuhan tuning parameter untuk adaptasi terhadap perubahan cepat kualitas air, sehingga memerlukan penambahan mekanisme AI (Bautista, M. G. A. C., Palconit, M. G. B., Rosales, M. A., Concepcion II, R. S., Bandala, A. A., Dadios, E. P., & Duarte, B., 2022).

Metode *fuzzy logic* telah terbukti mendukung pengambilan keputusan bagi petani ikan melalui klasifikasi kualitas air. Namun, eksplorasi mendalam tentang hubungan antara kondisi kualitas air dan toleransi spesifik berbagai jenis ikan masih kurang. Pemilihan jenis ikan yang tepat sebelum budidaya sangat penting untuk keberhasilan dan keberlanjutan industri perikanan. Memilih ikan yang sesuai dengan parameter kualitas air, petani ikan dapat memastikan kondisi optimal untuk pertumbuhan dan kesehatan ikan sehingga meningkatkan tingkat kelangsungan hidup (Bhatnagar, A. & Devi, P., 2013; Devi, P.A., Padmavathy, P., Aanand, S. & Aruljothi, K., 2017). Ikan yang dipelihara dalam kondisi sesuai toleransinya akan lebih tahan terhadap penyakit dan stres (Maulianawati, D., & Lembang, M. S., 2022).

Berbeda dengan pertanian yang telah maju melalui adopsi teknologi, akuakultur masih di tahap awal dalam menggunakan teknologi AI seperti *Internet of Things* (IoT), *Machine Learning* (ML), dan sensor. Teknologi ini bertujuan untuk mengurangi keterlibatan manusia, meningkatkan efisiensi, dan memantau kesehatan serta pertumbuhan ikan. Namun, masih ada tantangan seperti akurasi data, standarisasi, interpretasi hasil, dan integrasi dengan sistem akuakultur yang perlu diatasi (Rather, M. A., Ahmad, I., Shah, A., Hajam, Y. A., Amin, A., Khursheed, S., Ahmad, I & Rasool, S., 2024).

Hasil kajian menjadi landasan penting bagi usulan penelitian ini, di mana klasifikasi parameter air akan secara eksplisit dikaitkan dengan toleransi jenis ikan. *Fuzzy logic* akan dikembangkan untuk memodelkan hubungan tersebut dan selanjutnya dilakukan optimasi parameter yang menggunakan algoritma AI dengan tujuan meningkatkan keakuratan data dan interpretasi hasil klasifikasi untuk mendukung

pengambilan keputusan dalam pemilihan jenis ikan yang akan dibudidayakan. *Genetic Algorithm* efektif untuk menemukan solusi optimal dalam ruang pencarian luas dan cocok untuk optimasi sistem *fuzzy* dengan mengelola berbagai variabel secara bersamaan dan menentukan kombinasi aturan serta fungsi keanggotaan yang paling efisien (Lambora, A., Gupta, K., & Chopra, K., 2019). Peningkatan akurasi dan efisiensi dari sistem *fuzzy* klasifikasi dalam diagnosis kanker payudara mencapai 93% (Smith, J., & Doe, A., 2020). Peningkatan kinerja dalam pengendalian UAV *neuro-fuzzy* berbasis *genetic algorithm* mencapai 91% (Brown, R., & Johnson, K., 2021). Pengklasifikasi sistem *fuzzy* yang dioptimalkan mengalami peningkatan akurasi sebesar 89% dalam mendeteksi kesalahan pada dehumidifier (Lee, C., & Wang, H., 2022). Kombinasi *fuzzy logic* dan *genetic algorithm* mencapai akurasi 87% dalam penentuan penerima beasiswa (Patel, R., & Singh, A., 2024).

Pengambilan keputusan guna keberlanjutan industri perikanan tidak hanya mempertimbangkan aspek kualitas air, tetapi juga perlu memperhitungkan faktor-faktor kritis lain yang dapat berpengaruh pada produktivitas, efisiensi, profitabilitas, kualitas serta dampak lingkungan (Luna, M., Llorente, I. & Cobo, A., 2019; Elnoury, A. & ElWakel, M., 2023). Penerapan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM = Pengambilan Keputusan Berbasis Multi-Kriteria) di industri perikanan dengan melibatkan berbagai kriteria dapat menghasilkan keputusan yang lebih baik dibandingkan dengan pendekatan kriteria tunggal (Oglend, A., 2020). Kompleksitas kriteria tersebut bertujuan untuk optimasi (Elnoury, A. & ElWakel, M., 2023). Penelitian mengenai pengambilan keputusan berbasis MCDM telah dilakukan dalam mencapai tujuan optimasi industri perikanan (Cobo, Á., Llorente, I., Luna, L. & Luna, M., 2019; Teniwuta, W.A., Hasyima, C.L. and Arifinb, D., 2021). Metode tersebut memperkuat pengambilan keputusan yang terinformasi dikarenakan mempertimbangkan berbagai aspek kriteria pendukung.

Integrasi akan diusulkan antara klasifikasi *fuzzy* menggunakan *genetic algorithm* dan MCDM. Kolaborasi ini bertujuan mengembangkan DSS cerdas di industri perikanan untuk pemilihan jenis ikan yang dibudidayakan. *Decision Support*

System (DSS = Sistem Pendukung Keputusan) merupakan sistem informasi yang memiliki tujuan utama untuk meningkatkan pengambilan keputusan berdasarkan data dan analisis. DSS akan menganalisis jumlah data yang besar melalui kompilasi informasi yang komprehensif untuk memecahkan masalah dan mendukung pengambilan keputusan (Silva, H. & Bernardino, J., 2022). Pengembangan DSS di bidang kesehatan dapat membantu mengidentifikasi faktor risiko, mengelola risiko, dan meningkatkan hasil perinatal melalui optimasi (Kopanitsa, G., Metsker, O., & Kovalchuk, S., 2023; Tutun, S., Johnson, M.E., Ahmed, A., Albizri, A., Irgil, S., Yesilkaya, I., Ucar, E.N., Sengun, T. & Harfouche, A., 2023). Bidang hukum khususnya bagi non-profesional, dan dapat digunakan dalam deteksi kejahatan, domain keuangan, dan penentuan hukuman (Perboli, G. & Arabnezhad, E., 2021; Zeleznikow, J., 2023). Dalam pertanian presisi, DSS bertujuan untuk optimasi rekomendasi pertanian dan mengurangi dampak lingkungan (Kasimatis, C.N., Psomakelis, E., Katsenios, N., Katsenios, G., Papatheodorou, M., Vlachakis, D., Apostolou, D. & Efthimiadou, A., 2022; Adereti, D.T., Gardezi, M., Wang, T. & McMaine, J., 2023).

Penelitian DSS di industri perikanan mengangkat berbagai macam isu guna mencapai tujuan efisiensi; *disease management* (Berona, E., Buntag, D., Tan, M.J. & Coronado, A., 2016; Ranjan, R., Tsukuda, S. & Good, C., 2023), *schedulling and planning* (Jossart, J., Theuerkauf, S.J., Wickliffe, L.C. & Morris Jr, J.A., 2020; Lombardo, S., Israel, S. & Wood, D., 2022), *sustainability* (Lailossa, G.W., Artana, K.B., Pujawan, N. & Dinariyana, A.B., 2016; Nada, Y.A. & Elawady, Y.H., 2017), *catch optimization* (Carlson, A.K., Rubenstein, D.I. & Levin, S.A., 2020) dan *management decision* (Bricker, S.B., Getchis, T.L., Chadwick, C.B., Rose, C.M. & Rose, J.M., 2016). Namun, diketahui bahwa penelitian tentang pengambilan keputusan *multi criteria* dalam pengelolaan perikanan lebih sedikit dibandingkan dengan bidang lain seperti pertanian, kehutanan, dan keuangan (Panudju, A.T., Rahardja, S. & Nurilmala, M., 2023).

Berdasarkan analisis serta uraian yang telah dijelaskan, menunjukkan bahwa keberlanjutan industri perikanan memerlukan adanya integrasi metode dan inovasi

teknologi guna mengoptimalkan pengambilan keputusan. Oleh karena itu, penelitian ini akan memanfaatkan kemampuan optimasi *genetic algorithm* dalam model *fuzzy* klasifikasi dan pendekatan MCDM untuk menghasilkan *prototype* DSS yang cerdas. Usulan sistem ini diharapkan mampu menawarkan rekomendasi keputusan yang lebih akurat dan efisien dalam pemilihan jenis ikan.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada topik penelitian, rumusan masalah yang ingin dipecahkan adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana metode *fuzzy* dapat digunakan untuk mengklasifikasikan parameter kualitas air sesuai dengan jenis ikan dan toleransinya?
- b. Bagaimana melakukan optimasi menggunakan *genetic algorithm* pada hasil klasifikasi *fuzzy* untuk meningkatkan akurasi model?
- c. Bagaimana desain sistem integrasi kualitas air, aspek sosial, ekonomi, dan pasar dalam pengambilan keputusan pemilihan jenis ikan?
- d. Bagaimana mengembangkan *prototype* DSS cerdas di industri perikanan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dataset diperoleh dari *website* Kaggle yang divisualisasikan oleh akun apgopi dengan nama file pondsdata.
- b. Penelitian ini dibatasi pada industri perikanan air tawar.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengembangkan dan menerapkan metode *fuzzy* untuk mengklasifikasikan parameter kualitas air sesuai dengan jenis ikan dan toleransinya.
- b. Mengoptimalkan hasil klasifikasi *fuzzy* menggunakan *genetic algorithm* untuk meningkatkan akurasi model.

- c. Mendesain sistem integrasi kualitas air, aspek sosial, ekonomi dan pasar dalam pengambilan keputusan pemilihan jenis ikan.
- d. Mengembangkan *prototype* DSS cerdas di industri perikanan.

1.4 Kontribusi dan Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi keilmuan berupa model klasifikasi yang akurat untuk mengidentifikasi parameter kualitas air sesuai dengan toleransi berbagai jenis ikan. Optimasi menggunakan *genetic algorithm* diharapkan dapat meningkatkan keandalan dan efektivitas model, sementara pendekatan MCDM akan memastikan bahwa pengambilan keputusan mempertimbangkan berbagai aspek kritis dalam industri perikanan. Kontribusi teknologi dari penelitian ini adalah *prototype* DSS cerdas yang mengintegrasikan metode *fuzzy* dan *genetic algorithm* serta MCDM.

Manfaat dari penelitian ini mencakup peningkatan produktivitas, efisiensi, profitabilitas dan kualitas bagi industri perikanan melalui sistem yang dapat memberikan rekomendasi pemilihan jenis ikan yang optimal sesuai dengan faktor kualitas air, sosial, ekonomi dan pasar. DSS yang dikembangkan dapat membantu petani ikan untuk meminimalkan risiko dan kerugian, serta memaksimalkan hasil produksi. Harapannya, penelitian ini dapat mendorong penerapan teknologi cerdas dan mendukung keberlanjutan industri perikanan serta meningkatkan kesejahteraan petani ikan.

BAB 2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Industri Perikanan

Industri perikanan melibatkan kegiatan bisnis terkendali yang terfokus pada pemeliharaan organisme air laut atau tawar. Kegiatan ini mencakup penangkapan, aspek budidaya, pengolahan, pelestarian, dan pemasaran ikan serta produk pengolahan ikan. Industri perikanan terbagi menjadi beberapa kelompok kegiatan, meliputi (Oyediran, A.G., Uche, F.O. & Olaoti, K.S., 2021).

1. Kegiatan primer yaitu industri penangkapan ikan (*fishing industry*)
2. Kegiatan sekunder yaitu industri hasil perikanan (*fishing processing industry*)
3. Kegiatan tersier yaitu industri pemasaran produk perikanan
4. Kegiatan primer yaitu industri budidaya perairan yang merupakan usaha untuk kelangsungan hidup ikan selanjutnya. Selain itu, terdapat industri sebagai penunjang usaha perikanan seperti pembuatan alat penangkapan ikan, industri kapan perikanan dan industri pakan ikan.

Food and Agriculture Organization (FAO = Organisasi Pangan dan Pertanian) mendefinisikan industri perikanan secara luas yang mencakup sektor komersial, sektor tradisional dan sektor rekreasi. Sektor komersial merupakan suatu usaha tangkap ikan dan budi daya yang nantinya akan dijual mentah maupun olahan. Hal tersebut dapat dilakukan secara individu maupun perusahaan, terdapat tiga rantai dalam sektor ini yaitu (Hu, F., Zhong, H., Wu, C., Wang, S., Guo, Z., Tao, M., Zhang, C., Gong, D., Gao, X., Tang, C. & Wei, Z., 2021).

1. Perikanan tangkap dan perikanan budi daya

Perikanan tangkap adalah aktivitas menangkap ikan dan hewan air lainnya dengan beragam metode seperti tangkap tangan, jebakan, tombak dan lainnya. Perikanan budi daya adalah pemeliharaan dan penangkaran ikan dan hewan air lainnya. Terdapat dua macam budi daya yaitu budi daya perairan laut seperti rumput laut, alga, ikan laut dan jenis kerang. Selain itu, budi daya komersial

yang merupakan budi daya di suatu tempat khusus seperti tangki, keramba apung dan kolam.

2. Pemrosesan ikan

Ikan merupakan hasil alam serta bahan pangan yang mudah rusak. Hal tersebut memerlukan sebuah penanganan dan pengawetan untuk menjaga kualitas ikan dengan waktu yang lebih lama. Pemrosesan ikan merupakan suatu usaha dalam mengubah olahan dari ikan yang ditangkap ataupun budi daya menjadi produk ikan. Terdapat dua subdivisi utama dalam pemrosesan ikan yaitu, pemrosesan ikan awal dan manufaktur produk ikan. Selain itu, proses pemotongan ikan atau *filleting* dan pembekuan ikan. Limbah darah, tulang dan organ tubuh ikan sendiri juga dapat dijadikan pupuk atau pelet makan ikan.

3. Pasar ikan

Pasar ikan merupakan suatu tempat khusus untuk memasarkan ikan, olahan ikan dan organisme akuatik lainnya. Zonasi area pemasarannya dibagi berdasarkan kategori, seperti terpisahnya penjualan ikan dengan udang.

Sektor tradisional merupakan praktik tangkap ikan dan budi daya perikanan untuk tujuan komersial dalam skala usaha lebih kecil dengan metode tradisional seperti, busur dan panah, pancing, lempar jaring dan lainnya. Biasanya hasil ini dimanfaatkan sebagai sumber kehidupan masyarakat setempat. Berbeda dengan sektor rekreasi yang merupakan suatu usaha dengan menyediakan fasilitas penangkapan ikan guna sebagai kesenangan, olahraga dan industri.

Industri perikanan melibatkan banyak kegiatan dimulai dari penangkapan hingga mengubah bahan hasil perikanan menjadi produk dengan nilai tambah atau nilai ekonomi lebih tinggi. Manfaat ekonomi dari industri perikanan sangat beragam, termasuk memenuhi kebutuhan pangan dan gizi, meningkatkan pendapatan dan ekonomi, berkontribusi sebagai pemasok perikanan di pasar global (ekspor), serta memberikan dampak positif pada ekonomi daerah dan devisa negara. Selain manfaat ekonomi, industri perikanan juga membawa manfaat sosial dengan membentuk relasi antara pelaku industri, seperti nelayan, pembeli, penjual, dan pemborong (Anderson,

C.M., Krigbaum, M.J., Arostegui, M.C., Feddern, M.L., Koehn, J.Z., Kuriyama, P.T., Morrisett, C., Allen Akselrud, C.I., Davis, M.J., Fiamengo, C. & Fuller, A., 2019).

2.2 Kualitas Air Industri Perikanan

Kualitas air adalah bagian integral yang penting dari setiap sistem industri perikanan. Kualitas air sebagai peran utama dalam kesehatan ikan, dan setiap penurunan kualitas air menyebabkan stres pada ikan dan menyebabkan penyakit. Setiap faktor kualitas air berinteraksi dengan dan memengaruhi parameter lainnya, kadang-kadang dengan cara yang kompleks. Kondisi air yang baik adalah kebutuhan mutlak untuk kelangsungan hidup dan pertumbuhan ikan, karena seluruh proses hidup ikan sepenuhnya bergantung pada kualitas lingkungannya (Devi, P.A., Padmavathy, P., Aanand, S. & Aruljothi, K., 2017).

Ikan melakukan semua aktivitas fisiknya di bawah air, ikan bergantung pada air untuk bernapas, makan, bereproduksi, dan tumbuh. Ketika kualitas air di habitat memburuk, maka kualitas air menjadi tidak menguntungkan bagi ikan untuk hidup. Kualitas air tergantung pada parameter tertentu, dan ketika parameter berubah, kualitasnya akan memburuk. Akibatnya, kesehatan ikan terancam oleh kompromi sistem kekebalan tubuh ikan, yang secara kritis membuat ikan rentan terhadap patogen berbahaya (Nayan, A. A. et al., 2021).

Ikan dalam sistem budidaya kandang apung diberi pakan melalui input eksternal, berarti adanya input konstan nutrisi yang dapat menyebabkan penurunan kualitas air. Manajemen kualitas air adalah salah satu unsur kunci dalam industri perikanan yang berhasil. Oleh karena itu, kualitas air adalah faktor penentu keberhasilan atau kegagalan operasi industri perikanan. Kualitas air dalam suatu ekosistem menyediakan informasi signifikan tentang sumber daya yang tersedia untuk mendukung kehidupan di ekosistem tersebut. Kualitas baik dari sumber daya air bergantung pada sejumlah besar parameter fisiko-kimia. Menilai dan memantau parameter-parameter ini penting untuk mengidentifikasi besaran dan sumber dari beban polusi apa pun (Devi, P.A. et al., 2017).

Penyebab menurunnya kualitas air dapat mengakibatkan masalah yang serius pada ikan seperti perubahan nekrotik, papiloma, degeneratif, dan erosi sirip akibat pencemaran air. Dampaknya, pertumbuhan tubuh ikan menjadi tidak normal, dan hasil produksi pembudidaya tidak mencapai optimal. Jika pembudidaya dapat mengidentifikasi masalah ini lebih awal, tindakan perbaikan dapat dilakukan dengan cepat. Penggunaan AI dan algoritma ML telah meraih keberhasilan dalam pengambilan keputusan terkait masalah tersebut (Nayan, A. A. et al., 2021).

2.3 Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air adalah dukungan fisik, biologis, dan kimia di mana ikan menjalankan proses sehari-hari mereka, termasuk makan, berenang, pemijahan, metabolisme, perkembangan tubuh ikan, dan ekskresi. Parameter kualitas air, khususnya dalam industri perikanan air tawar, memiliki nilai optimal yang harus dipenuhi (Bhatnagar, A. & Devi, P., 2013; Devi, P.A. et al., 2017). Standar parameter kualitas air untuk perikanan mengacu pada PP No. 82 Tahun 2001, yang juga telah ditelaah dalam beberapa penelitian sebelumnya oleh Bhatnagar, A. & Devi, P., 2013; Devi, P.A. et al., 2017, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar Parameter Kualitas Air Tawar

Parameter	Nilai Optimal
<i>Temperature</i>	25 - 30°C
pH	6,5 – 8,5
<i>Dissolved Oxygen</i>	4 – 6 mg/L
<i>Ammonia</i>	0 – 0,05 mg/L
<i>Nitrate</i>	0,2 – 10 mg/L

Derajat kepanasan atau kekesejukan dalam tubuh organisme akuatik, baik di air maupun di darat, dikenal sebagai *temperature*. Ikan bersifat darah dingin, namun suhu tubuh mereka fluktuatif sebagai respon terhadap lingkungan, memengaruhi metabolisme dan fisiologi, serta memengaruhi produktivitas ikan. Tingkat aktivitas biokimia dari mikrobiota, serta tingkat respirasi, meningkat ketika *temperature* naik, karena peningkatan kebutuhan oksigen. Hal ini juga menyebabkan penurunan

kelarutan oksigen dan peningkatan kadar amonia dalam air (Verma, D.K., Satyaveer, M.N., Kumar, P. & Jayaswa, R., 2022).

Logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen digunakan untuk mengestimasi pH. Jumlah karbon dioksida memiliki dampak signifikan pada pH. Berkisar antara 6,5 hingga 8,5 merupakan pH ideal yang mendukung untuk pertumbuhan dan aktivitas reproduksi ikan. Ikan dapat mengalami stres dalam air dengan rentang pH antara 4,0 hingga 6,5 dan 9,0 hingga 11,0, kemungkinan besar kematian ikan terjadi pada pH kurang dari 4,0 atau bahkan lebih dari 11,0 (Verma, D.K. et al., 2022).

Udara atmosfer dan plankton fotosintetik merupakan sumber oksigen penting dalam air. DO yang rendah dalam air yang juga berkurang dengan peningkatan *temperature*, peningkatan salinitas, tekanan atmosfer rendah, kelembaban tinggi, konsentrasi tinggi tanaman tenggelam, dan ledakan plankton. Kehilangan oksigen dalam air menyebabkan pemberian makan dan kelaparan ikan, pertumbuhan yang menurun, dan peningkatan kematian ikan. Pertumbuhan, kelangsungan hidup, distribusi, perilaku, dan fisiologi ikan dipengaruhi oleh kadar DO (Verma, D.K. et al., 2022).

Ammonia merupakan produk samping dari metabolisme protein yang dikeluarkan oleh ikan dan degradasi bakteri dari limbah organik seperti sisa makanan, kotoran, plankton mati, air limbah. *Ammonia* dalam bentuk yang tidak terionisasi (NH_3) sangat berbahaya. *Nitrate* (NO_3) diproduksi oleh bakteri autotrof *Nitrobacter*, yang mengombinasikan oksigen dan nitrit untuk membentuk amonia dan nitrat, yang bersifat beracun bagi ikan. Tingkat nitrat biasanya konsisten sekitar 50 hingga 100 bagian per juta (Verma, D.K. et al., 2022).

2.4 Klasifikasi Fuzzy Logic

Klasifikasi fuzzy logic adalah metode untuk mengkategorikan data atau objek ke dalam kelas yang berbeda berdasarkan derajat keanggotaan daripada keputusan biner yang tegas. Berbeda dengan sistem klasifikasi biner tradisional yang menetapkan setiap titik data ke satu kelas, fuzzy logic memungkinkan keanggotaan parsial dalam

beberapa kelas secara bersamaan. Pendekatan *fuzzy logic* berguna untuk menangani informasi yang tidak tepat, tidak pasti, atau ambigu (Jane, J. B., & Ganesh, E. N., 2019). Konsep utama dari klasifikasi *fuzzy logic* terdiri dari:

1. Himpunan Fuzzy

Setiap elemen memiliki derajat keanggotaan dalam suatu himpunan, yang direpresentasikan oleh fungsi keanggotaan. Nilai keanggotaan berkisar antara 0 dan 1, menunjukkan sejauh mana elemen tersebut termasuk dalam himpunan.

2. Fungsi Keanggotaan

Fungsi matematis yang mendefinisikan bagaimana setiap titik dalam ruang input dipetakan ke nilai keanggotaan antara 0 dan 1. Jenis yang umum termasuk fungsi segitiga, trapesium, dan Gaussian.

3. Aturan Fuzzy

Klasifikasi dicapai melalui serangkaian aturan *fuzzy* yang menggambarkan hubungan antara fitur input dan kelas output. Aturan-aturan ini biasanya dalam bentuk pernyataan "IF-THEN".

4. Fuzzifikasi

Proses mengubah nilai input yang tegas menjadi derajat keanggotaan untuk setiap himpunan *fuzzy* yang relevan.

5. Sistem Inferensi

Menggunakan aturan *fuzzy* untuk mengevaluasi derajat keanggotaan dari input dan menggabungkannya untuk membentuk *output fuzzy*.

6. Defuzzifikasi

Mengubah *output fuzzy* kembali menjadi nilai atau kelas yang tegas. Metode yang umum termasuk metode *centroid*, metode *bisektor*, dan prinsip keanggotaan maksimum.

2.5 Exploratory Data Analysis

Exploratory Data Analysis (EDA = Analisis Data Eksploratif) adalah pendekatan untuk merangkum data dengan mengambil karakteristik utamanya dan

memvisualisasikannya dengan representasi yang tepat. EDA lebih fokus pada pemeriksaan asumsi yang diperlukan untuk pemodelan dan pengujian hipotesis, serta penanganan nilai yang hilang dan transformasi variabel sesuai kebutuhan (Sahoo, K., Samal, A.K., Pramanik, J. & Pani, S.K., 2019).

EDA membantu menganalisis set data untuk merangkum karakteristik statistik dengan fokus pada empat aspek kunci, seperti ukuran kecenderungan sentral (rata-rata, modus, dan median), ukuran penyebaran (standar deviasi dan varians), bentuk distribusi, dan keberadaan pencilan (Sahoo, K. et al., 2019). Terdapat beberapa *Software* yang tersedia untuk EDA, yaitu (Mukhiya, S.K. & Ahmed, U., 2020):

1. Python merupakan bahasa pemrograman sumber terbuka yang banyak digunakan dalam *data analysis*, *data mining* dan *data science*.
2. Bahasa R Programming merupakan bahasa pemrograman sumber terbuka yang secara luas digunakan dalam *statistical computation* dan *graphical data analysis*.
3. Weka merupakan paket *data mining* sumber terbuka yang melibatkan beberapa alat dan algoritma EDA.
4. KNIME merupakan sebuah alat sumber terbuka yang digunakan untuk *data analysis* pada platform Eclipse.

Penggunaan Python sangat populer dalam konteks EDA, hal tersebut dikarenakan sifat yang relatif mudah dipelajari, keberagaman pustaka yang kaya, dan kapasitas penanganan data yang tinggi. Berikut pustaka yang digunakan sebagai alat visualisasi EDA (Sahoo, K. et al., 2019):

1. Pandas

Pandas adalah paket paling kuat untuk analisis data. Pandas dapat membersihkan, mentransformasi, dan menganalisis data. Data dapat disimpan dalam format CSV di komputer. Proses pembersihan, visualisasi, dan penyimpanan data dapat dilakukan dengan mudah. Pandas dibangun di atas paket NumPy, dan memiliki fungsi *plotting* dari Matplotlib serta algoritma pembelajaran mesin dari Scikit-learn.

2. Jupyter Notebook

Jupyter Notebook memberikan kemampuan untuk menjalankan kode dalam sel tertentu dengan menggunakan pendekatan berbasis konsol untuk komputasi dan menyediakan proses aplikasi berbasis web. Jupyter Notebook mencakup input dan output perhitungan serta representasi media kaya dari objek.

2.6 Artificial Intelligence (AI)

Artificial Intelligence (AI = Kecerdasan Artifisial) mengacu pada proses pemrograman komputer yang berguna untuk mensimulasikan kognisi dan perilaku manusia dalam menghasilkan respon serupa (Magd, H. et al., 2023). AI dapat didefinisikan sebagai penerapan pemrograman komputer untuk meniru kemampuan kognitif dan tindakan manusia (Konar, A., 2018).

Perkembangan otomatisasi dan teknologi AI telah mendorong perkembangan industri perikanan secara bertahap ke arah yang lebih intensif dan cerdas di seluruh dunia, dan lingkungan budi daya telah secara progresif beralih ke sistem budi daya yang berkelanjutan, yang secara signifikan meningkatkan efisiensi budi daya (FAO, 2018). Meskipun demikian, industri perikanan telah dipengaruhi oleh banyaknya tenaga kerja yang dibutuhkan, organisme budidaya, lingkungan, dan faktor variabel lainnya. Karena hal ini, peningkatan besar dalam industri perikanan juga telah menyebabkan banyak masalah, seperti pemberian makan ikan, penyakit, dan polusi air, dan lain-lain (Zhao, S. et al., 2021). Sebagai bagian dari revolusi hijau ketiga – industri perikanan berbasis AI akan berkomitmen untuk memecahkan masalah dalam pengembangan perikanan dan meningkatkan produktivitas (Yang, L. et al., 2020).

2.7 Genetic Algorithm

Genetic Algorithm (GA) adalah sebuah metaheuristik powerful yang terinspirasi oleh teori evolusi alam Darwin. Algoritma 1 menunjukkan pseudo-kode dari GA standar. GA merupakan suatu algoritma berbasis populasi di mana banyak solusi yang bersifat sementara dikelola (Harada, T., & Alba, E., 2020).

Pertama, populasi awal P_0 dibangun berdasarkan metode inisialisasi. Populasi awal sering kali dihasilkan secara acak, sementara beberapa heuristik seperti metode pengambilan sampel Latin hypercube atau pendekatan khusus masalah digunakan untuk memberikan titik awal yang lebih baik untuk pencarian. Solusi-solusi sementara dalam populasi dievaluasi berdasarkan fungsi kecocokan (evaluasi), yang menilai sejauh mana solusi sementara cocok dengan masalah target. Setelah itu, prosedur utama GA dijalankan (Harada, T., & Alba, E., 2020).

Dalam prosedur utama, solusi-solusi sementara baru P_t dibuat melalui operator variasi (variasi) seperti crossover dan mutasi, dan kecocokan mereka dievaluasi. Kemudian, populasi berikutnya P_{t+1} dibentuk dari populasi saat ini P_t dan solusi-solusi sementara yang baru dihasilkan P_t (penggantian). Prosedur ini diulang sampai kriteria terminasi yang telah ditentukan terpenuhi, seperti kualitas solusi yang diinginkan, jumlah evaluasi maksimum, atau waktu komputasi (Harada, T., & Alba, E., 2020).

2.8 Feature Engineering

Istilah *feature engineering* (rekayasa fitur) bagi beberapa ilmuwan data adalah cara menyusun fitur yang diperlukan untuk model terawasi (misal mencoba memprediksi variabel respons atau hasil). Dapat juga dikatakan sebagai metodologi yang digunakan untuk mengekstraksi representasi numerik dari data yang tidak terstruktur untuk model tak terawasi (misal mencoba mengekstrak struktur dari dataset sebelumnya yang tidak terstruktur) (Ozmedir, S., 2022).

Feature engineering adalah seni memanipulasi dan mentransformasi data ke dalam format yang secara optimal merepresentasikan masalah mendasar yang sedang dihadapi dan mengatasi kompleksitas serta bias yang melekat dalam data. Ada lima teknik dari *feature engineering* yaitu (Ozmedir, S., 2022):

1. *Feature Improvement* (Peningkatan Fitur) adalah membuat fitur yang sudah ada lebih dapat digunakan melalui transformasi matematis.

2. *Feature Construction* (Konstruksi Fitur) adalah membuat dataset menjadi lebih kaya dengan menciptakan fitur baru yang dapat diinterpretasi dari fitur yang sudah ada.
3. *Feature Selection* (Seleksi Fitur) adalah memilih subset terbaik dari fitur dari kumpulan fitur yang sudah ada.
4. *Feature Extraction* (Ekstraksi Fitur) adalah mengandalkan algoritma untuk membuat fitur baru, terkadang tidak dapat diinterpretasi, biasanya berdasarkan asumsi parametrik tentang data.
5. *Feature Learning* (Pembelajaran Fitur) adalah menghasilkan otomatis satu set fitur baru, biasanya dengan mengekstrak struktur dan pembelajaran representasi dari data mentah yang tidak terstruktur, seperti teks, gambar, dan video, seringkali menggunakan *deep learning*.

Lima jenis *feature engineering* akan menghasilkan sebuah alur kerja yang menunjukkan alur kerja *end-to-end* dalam memanipulasi data untuk tujuan merancang fitur yang paling membantu model menyelesaikan tugas yang dihadapi.

2.9 Multi Criteria Decision Making

Multi Criteria Decision Making (MCDM) berkaitan dengan struktur dan menyelesaikan masalah keputusan dan perencanaan yang melibatkan kriteria-kriteria ganda. Tujuan utamanya adalah untuk mendukung para pengambil keputusan dengan banyak pilihan untuk memecahkan suatu masalah. Umumnya, diperlukan keinginan pengambil keputusan untuk membedakan antara solusi-solusi. Memecahkan masalah dapat diinterpretasikan dengan berbagai cara sesuai dengan memilih alternatif "terbaik" dari suatu set alternatif (di mana "terbaik" dapat diartikan sebagai "alternatif yang paling disukai" oleh pengambil keputusan). Interpretasi lain dari "memecahkan" adalah memilih satu set kecil alternatif yang baik, atau mengelompokkan alternatif ke dalam set preferensi yang berbeda. Interpretasi ekstrim digunakan untuk menemukan semua alternatif "efisien" atau "non-dominan" (Aruldoss, M., Lakshmi, T.M. & Venkatesan, V.P., 2013).

Ada beberapa metode MCDM yang telah diterapkan pada berbagai aplikasi untuk menemukan solusi terbaik dalam memilih alternatif terbaik. Gambar 2.1 memperlihatkan hirarki dari metode MCDM dan jenis-jenisnya, yaitu (Aruldoss, M. et al., 2013):

1. *Analitik Hierarchy Process (AHP)*

Ide dasar AHP adalah untuk menangkap pengetahuan ahli tentang fenomena yang sedang dipelajari. Dengan menggunakan konsep teori himpunan Fuzzy dan analisis struktur hirarki, pendekatan sistematis digunakan untuk pemilihan alternatif dan masalah justifikasi. AHP mencakup pendapat para ahli dan evaluasi multi kriteria; tidak mampu merefleksikan pemikiran samar manusia. AHP klasik mempertimbangkan penilaian yang pasti dari pengambil keputusan, sehingga teori himpunan Fuzzy membuat proses perbandingan lebih fleksibel dan mampu menjelaskan preferensi para ahli. AHP memecah masalah MCDM yang sulit menjadi prosedur hirarki sistematis. Langkah terakhir dalam metode AHP menangani struktur matriks $m \times n$ (di mana m adalah jumlah alternatif dan n adalah jumlah kriteria). AHP didasarkan pada teori prioritas yang berurusan dengan masalah-masalah kompleks yang melibatkan pertimbangan multi kriteria/alternatif secara simultan.

2. *Fuzzy Analitic Hierarchy Process*

Fuzzy AHP digunakan dalam survei pasar konvensional, beberapa produk dan alternatif dievaluasi melalui perbandingan berpasangan, bobot setiap evaluasi *item* dan nilai evaluasi untuk setiap produk dan alternatif ditemukan untuk setiap evaluasi *item*, tetapi hasil perbandingan berpasangan bukan 0,1, melainkan derajat yang diberikan oleh nilai numerik. Dalam Fuzzy AHP bobot diungkapkan dengan ukuran kebutuhan atau ukuran kemungkinan. Selain itu, kondisi konvensional bahwa total berbagai bobot sama dengan 1 dapat dilemahkan.

3. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*

Metode TOPSIS mengasumsikan bahwa setiap kriteria memiliki kecenderungan kegunaan yang monotonik meningkat atau menurun, yang mengarah pada mendefinisikan solusi ideal positif dan negatif dengan mudah. Untuk mengevaluasi kedekatan relatif alternatif terhadap solusi ideal, pendekatan jarak Euclidean diusulkan. Serangkaian perbandingan dari jarak relatif ini akan memberikan urutan preferensi alternatif. Metode TOPSIS pertama-tama mengubah dimensi kriteria berbagai menjadi kriteria non-dimensional. Konsep TOPSIS adalah bahwa alternatif yang dipilih harus memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif (PIS) dan paling jauh dari solusi ideal negatif (NIS). Metode ini digunakan untuk tujuan pemeringkatan dan untuk mendapatkan kinerja terbaik dalam pengambilan keputusan berdasarkan kriteria ganda.

4. *Elimination Et Choix Traduisant la REalite'* (ELECTRE)

ELECTRE adalah salah satu metode MCDM yang memungkinkan pengambil keputusan untuk memilih pilihan terbaik dengan keuntungan maksimal dan konflik minimum dalam fungsi berbagai kriteria. Metode ELECTRE digunakan untuk memilih tindakan terbaik dari serangkaian tindakan dan kemudian disebut sebagai ELECTRE I. Berbagai versi ELECTRE telah dikembangkan termasuk ELECTRE I, II, III, IV, dan TRI. Semua metode didasarkan pada konsep dasar yang sama tetapi berbeda secara operasional dan sesuai dengan jenis masalah pengambilan keputusan. Secara khusus, ELECTRE I dimaksudkan untuk masalah pemilihan, ELECTRE TRI untuk masalah penugasan, dan ELECTRE II, III, dan IV untuk masalah peringkat. Ide utamanya adalah pemanfaatan yang tepat dari "hubungan mendominasi". ELECTRE menciptakan kemungkinan untuk memodelkan proses pengambilan keputusan dengan menggunakan indeks koordinasi. Indeks tersebut adalah matriks kesesuaian dan ketidaksesuaian. Pengambil keputusan menggunakan indeks kesesuaian dan ketidaksesuaian untuk menganalisis hubungan

mendominasi di antara berbagai alternatif dan memilih alternatif terbaik menggunakan data tegas.

5. *Grey Theory*

Grey Theory (teori abu-abu) memiliki analisis matematis yang tinggi terhadap sistem yang sebagian diketahui dan sebagian tidak diketahui, dan didefinisikan sebagai "data yang tidak mencukupi" dan "pengetahuan yang lemah". Ketika proses pengambilan keputusan tidak jelas, Teori abu-abu melakukan analisis interaksional, terdapat sejumlah besar data masukan yang bersifat jelas namun tidak mencukupi.

Metode MCDM tersebut telah diterapkan secara luas untuk menemukan alternatif terbaik ketika pilihan dan kriteria tinggi. Metode-metode tersebut dipilih sesuai dengan sifat pengambilan keputusan. Untuk pemilihan terbaik, digunakan ELECTRE; untuk peringkat, digunakan TOPSIS yang memilih yang terbaik, dan teori abu-abu digunakan untuk memilih yang terbaik ketika data lengkap tidak tersedia.

2.10 Sistem Pengambilan Keputusan (Decision Support System)

Munculnya aliran penelitian DSS didasarkan pada ide penggunaan komputer oleh Bonini (1963) untuk mendukung para pengambil keputusan. Karya Gorry dan Scott Morton (1971) adalah salah satu dasar dari bidang akademis DSS. Dalam karyanya, mereka memperkenalkan kerangka kerja untuk mendukung pengambilan keputusan manajerial dengan menggabungkan model pengambilan keputusan Simon (1960) dan kategori aktivitas manajemen Anthony (1965). Definisi istilah DSS adalah sebagai sistem pendukung pengambil keputusan dalam keputusan semi-terstruktur atau tidak terstruktur banyak digunakan saat ini, begitu juga penerapan model pengambilan keputusan Simon. Penelitian DSS bercabang menjadi bidang multi-disiplin yang terutama mencakup Sistem Informasi, Riset Operasional, Teori Keputusan, dan Studi Organisasi (Merkert, J., Mueller, M. & Hubl, M., 2015).

Sejak Simon menyarankan untuk menggabungkan alat AI dalam DSS pada tahun 1980-an, peneliti AI bergabung dengan komunitas penelitian DSS, menjelaskan

karakter multidisiplinnya. Dalam literatur, banyak sub-klas DSS dibedakan, termasuk Group DSS, *Negotiation Support Systems*, *Knowledge Management based DSS*, dan iDSS. Selain itu, konsep terkait seperti Sistem Pakar, *Business Intelligence*, atau *Data Warehousing* sering dimasukkan dalam bidang penelitian DSS (Merkert, J., Mueller, M. and Hubl, M., 2015).

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait dengan DSS di industri perikanan dapat dilihat pada Tabel 2.2. Cobo, Llorente dan Luna mengembangkan DSS yang mencakupi faktor ekonomi dan teknis. Penelitian ini memungkinkan penentuan strategi budidaya optimal yang memaksimalkan kinerja ekonomi dari budidaya ikan dan memberikan informasi rinci tentang strategi yang akan dikembangkan. Sistem ini dapat diterapkan dalam dua tingkat pengambilan keputusan, yaitu operasional dan strategis. DSS bertujuan untuk digunakan dalam merencanakan aktivitas harian suatu fasilitas untuk periode tertentu, sehingga sistem ini membantu pengambilan keputusan strategis. Teknik optimasi yang digunakan adalah *Particle Swarm Optimization*. Peneliti mengusulkan untuk menambahkan beberapa faktor seperti kualitas air dikarenakan ikan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti salinitas atau aliran air. Pada akhirnya, faktor tersebut memengaruhi kebiasaan makan ikan, metabolisme sehingga menghasilkan pertumbuhan yang efektif dan meningkatkan profitabilitas (Cobo, Á. et al., 2019).

Teniwuta, Hasyima dan Arifin merancang DSS berbasis web untuk rantai pasok industri perikanan berkelanjutan. DSS dirancang dengan mengidentifikasi kriteria; lokasi penangkapan ikan, pemasok, penjual dan mengukur tingkat keberlanjutan sumber daya laut. Tujuan penelitian untuk meningkatkan profitabilitas kegiatan bisnis industri perikanan di komunitas pesisir. Penelitian ini menggabungkan kegiatan *data mining* dengan analisis spasial serta studi kelayakan sebagai pendekatan untuk pengembangan sistem. DSS memungkinkan pengoptimalan proses pengambilan keputusan terkait profitabilitas dan keberlanjutan sumber daya laut yang ada.

(Teniwuta, W.A. et al., 2021). Penelitian ini mengusulkan untuk penerapan algoritma berbasis kecerdasan buatan dengan tujuan untuk mengoptimalkan hasil dari DSS.

Musmedi, Harini dan Setyanti mengimplementasikan model logika *fuzzy* untuk penelitian seleksi pemasok ikan, khususnya dalam bisnis ikan koi di Blitar, Digma Koi. Model tersebut menggunakan dua indikator utama dalam penilaian pemasok yaitu harga rendah dan jumlah produk cacat yang minimal. Model *fuzzy logic* Mamdani berhasil menghasilkan proyeksi yang akurat tentang kualitas pemasok sebesar MSA 2.3129. Model terbukti mengakomodasi lebih dari dua variabel input untuk prediksi yang lebih akurat, namun penulis merekomendasikan untuk menambahkan faktor penting lainnya seperti keandalan pemasok atau kecepatan pengiriman serta dilakukan optimasi menggunakan algoritma AI sehingga *output* yang dihasilkan DSS akan lebih optimal (Musmedi, D. P., Harini, Y., & Setyanti, S. W. L. H., 2022).

Luna, Llorente, dan Cobo menggunakan pendekatan multi-kriteria dan *genetic algorithm* untuk menentukan strategi pemberian pakan di peternakan ikan, khususnya untuk Gilthead seabream. Pengembangan metodologi yang mengintegrasikan berbagai kriteria keputusan yaitu faktor ekonomi, lingkungan, dan kualitas produk. Kriteria tersebut mempengaruhi pertumbuhan ikan, dampak lingkungan, dan biaya produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan berbagai jenis pakan pada waktu yang tepat dapat meningkatkan hasil dibandingkan strategi pakan tunggal. Peneliti mengusulkan untuk melakukan pengakuratan data dan kelengkapan data yang digunakan sehingga akan menghasilkan efektivitas model yang baik (Luna, M., Llorente, I. and Cobo, A., 2022).

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian

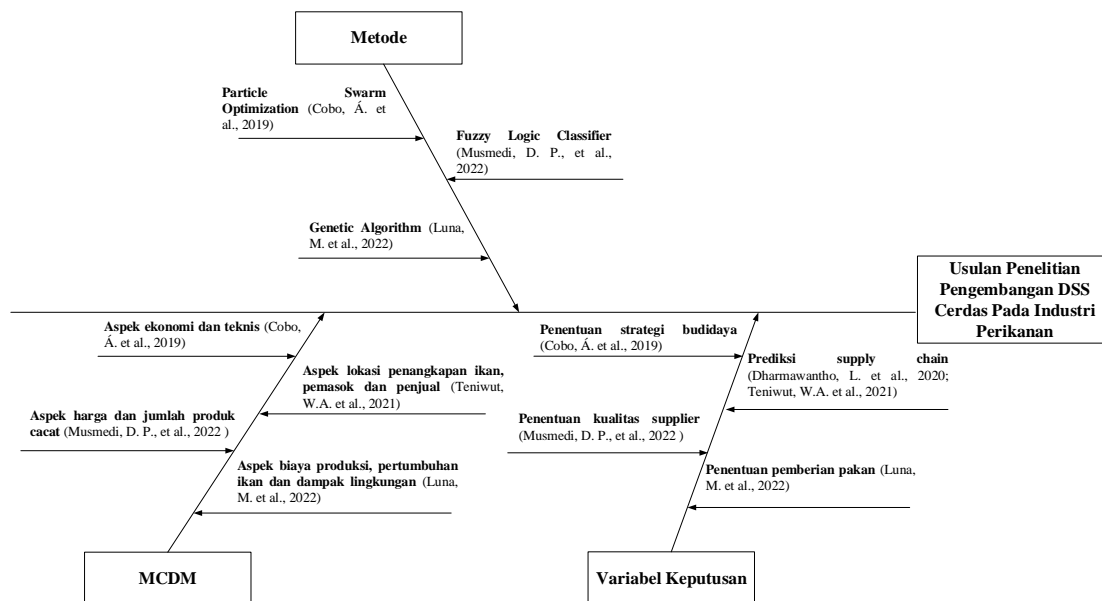
No	Penulis	DSS	Fuzzy Logic	Algoritma Optimasi	MCDM	Variabel Keputusan	Parameter	Hasil
1	Cobo, Á. et al., 2019	✓	×	✓	✓	Penentuan strategi budidaya	<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomi • Teknis 	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa DSS yang dikembangkan dengan algoritma <i>particle swarm optimization</i> mampu memberikan rekomendasi yang efektif dan efisien dalam menentukan strategi budidaya ikan. Sistem ini membantu petani ikan dalam membuat keputusan yang lebih baik dengan mempertimbangkan berbagai faktor ekonomi dan tejnus secara simultan.
2	Teniwut, W.A. et al., 2021	✓	×	×	✓	Rantai pasok	<ul style="list-style-type: none"> • Lokasi penangkapan ikan • Pemasok • Penjual 	Sistem Pendukung Keputusan (DSS) berbasis web yang dirancang dengan menggabungkan teknik penambangan data, analisis spasial, dan studi kelayakan untuk membantu pengambilan keputusan yang pengelolaan rantai pasok perikanan. Sistem ini tidak hanya meningkatkan profitabilitas melalui pengelolaan yang efektif tetapi juga menjamin keberlanjutan sumber daya kelautan dengan menilai dampak lingkungan seiring dengan peluang ekonomi.
3	Musmedi, D. P., et al., 2022	✓	✓	×	✓	Penentuan kualitas supplier	<ul style="list-style-type: none"> • Harga • Jumlah produk cacat 	Hasil pengimplementasian model logika <i>fuzzy</i> untuk seleksi pemasok ikan dengan menggunakan data sekunder dari pembelian ikan koi selama tahun 2021, model <i>fuzzy logic</i> Mamdani berhasil menghasilkan proyeksi yang sangat akurat tentang kualitas pemasok berdasarkan dua parameter. Hasil akurasi MSA mencapai 2.3129, menunjukkan tingkat kesalahan yang sangat rendah dalam prediksinya.

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian (Lanjutan)

No	Penulis	DSS	Fuzzy Logic	Algoritma AI	MCDM	Variabel Keputusan	Parameter	Hasil
4	Luna, M. et al., 2022	✓	×	✓	✓	Penentuan pemberian pakan	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya produksi • Pertumbuhan ikan • Dampak terhadap lingkungan 	Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi multi kriteria dan <i>genetic algorithm</i> meningkatkan model pengambilan keputusan dalam strategi pemberian pakan dengan tujuan optimasi. Penggunaan <i>genetic algorithm</i> membantu menyempurnakan dan mengoptimalkan jadwal pakan berdasarkan kriteria yang ditetapkan, mengarah pada hasil yang potensial lebih baik dibandingkan strategi pakan tunggal.
5	Usulan Penelitian	✓	✓	✓	✓	Penentuan jenis ikan untuk dibudidayakan	<ul style="list-style-type: none"> • Kualitas air • Sosial (preferensi petani) • Ekonomi • Pasar 	Diharapkan mampu mengembangkan DSS cerdas di industri perikanan guna memberikan rekomendasi jenis ikan yang cocok untuk dibudidayakan berdasarkan parameter input yang relevan dan optimal. Sehingga, DSS mampu meningkatkan produktivitas, efisiensi, profitabilitas dan kualitas industri perikanan.

2.12 Diagram Fishbone

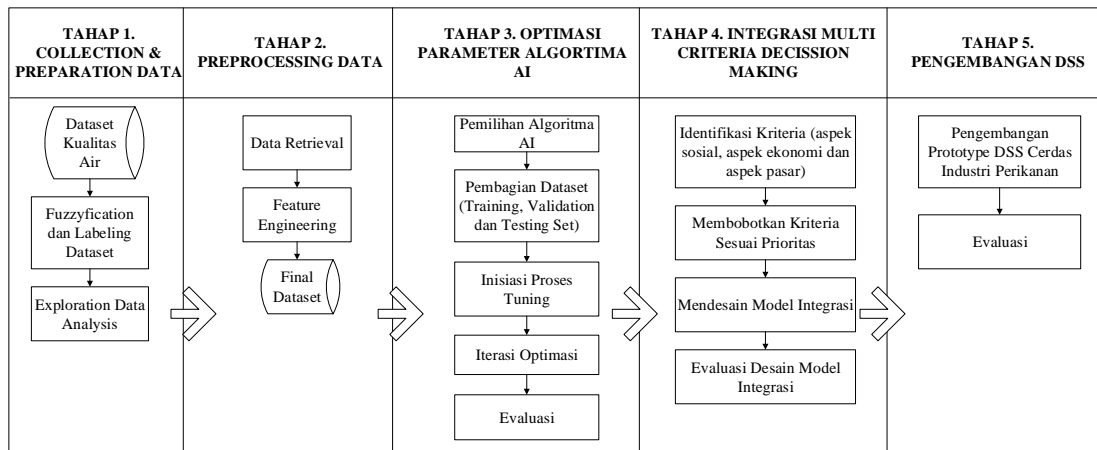
Diagram *fishbone* atau dikenal dengan diagram sebab-akibat merupakan metode grafis untuk memperlihatkan faktor-faktor yang berkontribusi pada situasi tertentu (Coccia, M., 2020). Diagram *fishbone* juga dikenal dengan sebutan diagram Ishikawa yang termasuk dalam *Seven Quality Tools* (Sujarwo, Y.A. & Ratnasari, A., 2020). Bentuk diagram *fishbone* yaitu seperti kerangka tulang ikan yang umumnya merupakan alat yang digunakan dalam ilmu manajemen guna menganalisis sebab-akibat dengan mencari tahu beberapa hal yang menyebabkan suatu peristiwa terjadi (Coccia, M., 2020). Gambar 2.1 memperlihatkan diagram *fishbone* yang menggambarkan rencana penelitian ini.



Gambar 2.1 Diagram *Fishbone* Usulan Penelitian

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1, tahap pertama adalah *collection* dan *preparation* data yang relevan. Data parameter air digunakan untuk membentuk dasar analisis. Proses dimulai dengan *fuzzification* dan *labeling* pada dataset, di mana nilai-nilai numerik dari parameter air dikonversi menjadi nilai *fuzzy*. Label ini digunakan untuk mengkategorikan data ke dalam kelas-kelas berdasarkan aturan *fuzzy* yang telah ditentukan. Selanjutnya, melakukan eksplorasi data (*Exploratory Data Analysis*) untuk memahami distribusi dan karakteristik data. Setelah itu, data *retrieval* dilakukan untuk menyiapkan data diikuti langkah *feature engineering* untuk menangani data dari *missing value* dan *outliers*, hasilnya berupa *final* dataset yang siap digunakan. Tahap ketiga yaitu menerapkan algoritma optimasi sebagai metode *tuning* parameter guna menghasilkan klasifikasi yang paling akurat dan efisien berdasarkan dataset yang telah dilabeli.

Tahap keempat yaitu mengintegrasikan aspek yang mempengaruhi keputusan pemilihan jenis ikan meliputi aspek lingkungan dari klasifikasi kualitas air, aspek sosial aspek ekonomi dan aspek pasar. Hasil integrasi tersebut menjadi sebuah DSS pemilihan jenis ikan yang terinformasi. Tahap kelima adalah pengembangan DSS

Cerdas Industri Perikanan. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa model yang sudah terintegrasi terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Setelah pengujian, dilanjutkan dengan pengembangan *prototype* sistem berdasarkan desain yang telah disusun. *Prototype* digunakan untuk menguji fungsionalitas sistem secara nyata dan memastikan bahwa semua elemen bekerja sesuai rencana. Evaluasi dilakukan dengan metode *Black-box Testing*, yang mencakup berbagai kategori seperti fungsi yang salah atau hilang, kesalahan antarmuka, hingga performa sistem (Loyola-Gonzalez, O., 2019).

3.2 Collection dan Preparation Data

Data yang diperoleh dari Kaggle format CSV digunakan sebagai sumber utama dalam pengembangan sistem pendukung keputusan untuk industri perikanan. Parameter air dalam dataset, seperti *nitrate*, pH, ammonia, *temperature*, *Dissolved Oxygen* (DO = Oksigen Terlarut). Dataset parameter air yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis data terstruktur yang merujuk pada data yang sudah sesuai dengan model atau desain data yang baku (Ozmedir, S., 2022). Data ini direpresentasikan dalam format tabel dengan baris sebagai pengamatan individu dan kolom sebagai fitur pada Gambar 3.2.

	station	Date	Time	NITRATE(PPM)	PH	AMMONIA(mg/l)	TEMP	DO
0	station1	01-02-2022	08:00:00	18.3	5.7	0.010	23.20	11.6
1	station1	01-02-2022	08:20:00	3.6	5.1	0.094	23.41	10.5
2	station1	01-02-2022	08:40:00	13.1	5.5	0.060	23.63	10.3
3	station1	01-02-2022	09:00:00	18.1	5.2	0.018	23.64	9.4
4	station1	01-02-2022	09:20:00	10.8	5.2	0.038	23.81	8.8

Gambar 3.2 Lima baris pertama dari dataset parameter air

Proses *fuzzification* akan dilakukan guna mengubah data kuantitatif menjadi data kualitatif melalui penerapan fungsi keanggotaan, yang mengkategorikan data ke dalam berbagai tingkatan. Dataset parameter air akan diklasifikasikan sesuai dengan tabel 3.2.

Tabel 3.1 Kelas Parameter Kualitas Air

Kelas	Keterangan	Alasan
Rendah	Kualitas air di bawah standar; dapat berdampak negatif pada semua jenis ikan terutama berbahaya bagi ikan dengan toleransi rendah	Suhu dan pH yang sangat rendah juga dapat mengganggu proses biologis penting pada ikan (Fauzia, S. R., & Suseno, S. H., 2020). Kekurangan oksigen terlarut (DO rendah) dapat mengakibatkan hipoksia pada ikan (Anwar, A., & Nasir, B. T., 2019). Tingkat ammonia atau nitrat yang tinggi sangat berbahaya bagi ikan dan dapat menyebabkan keracunan atau kematian (Verma, D.K. et al., 2022)
Optimal	Kualitas air dalam rentang ideal; cocok untuk semua jenis ikan	Kondisi yang optimal pada semua parameter menandakan kondisi lingkungan yang ideal untuk pertumbuhan dan kesehatan ikan. Penelitian menunjukkan bahwa ikan tumbuh dan berkembang paling baik dalam kondisi kualitas air yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan spesiesnya (Bhatnagar, A. & Devi, P., 2013; Devi, P.A. et al., 2017)
Tinggi	Kualitas air di atas standar; mungkin tidak berdampak langsung berbahaya tetapi bisa menyebabkan masalah jangka panjang atau stres pada ikan dengan toleransi rendah	Meskipun tingkat ammonia dan nitrat masih dalam batas aman, suhu, pH, atau DO yang tinggi bisa menimbulkan stres pada ikan jangka panjang, terutama untuk spesies dengan toleransi rendah terhadap perubahan kondisi ekstrem (Maulianawati, D., & Lembang, M. S., 2022).

Selanjutnya pada proses *fuzzification* dilakukan pendefinisian fungsi keanggotaan yang sesuai untuk kelas rendah, optimal, dan tinggi. Hal ini dilakukan berdasarkan rekomendasi dari literatur ilmiah dan panduan industri standar parameter kualitas air untuk perikanan PP No. 82 Tahun 2001.

Tabel 3.2 Definisi Fungsi Keanggotaan

Parameter	Kategori	Batas	Fungsi Keanggotaan
Temperature	Rendah	di bawah 25°C	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } X < 25 \\ \frac{25 - X}{25 - 20} & \text{if } 20 \leq X < 25 \\ 0 & \text{if } X \geq 25 \end{cases}$
	Optimal	25°C hingga 30°C	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } 27.5 \leq X < 30 \\ \frac{X - 25}{30 - 25} & \text{if } 25 \leq X < 27.5 \\ 0 & \text{if } X < 25 \text{ atau } X > 30 \end{cases}$

Tabel 3.2 Definisi Fungsi Keanggotaan (Lanjutan)

Parameter	Kategori	Batas	Fungsi Keanggotaan
	Tinggi	di atas 30°C	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } X \geq 30 \\ \frac{X - 30}{32 - 30} & \text{if } 30 < X < 32 \\ 0 & \text{if } X \leq 30 \end{cases}$
pH	Rendah	di bawah 6.5	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } X \leq 5 \\ \frac{6.5 - X}{6.5 - 5} & \text{if } 5 < X < 6.5 \\ 0 & \text{if } X \geq 6.5 \end{cases}$
	Optimal	6.5 hingga 8.5	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } 7.5 \leq X \leq 8.5 \\ \frac{X - 6.5}{8.5 - 7.5} & \text{if } 6.5 \leq X < 7.5 \\ 0 & \text{if } X < 6.5 \text{ atau } X > 8.5 \end{cases}$
	Tinggi	di atas 8.5	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } X \geq 9 \\ \frac{X - 8.5}{9 - 8.5} & \text{if } 8.5 < X < 9 \\ 0 & \text{if } X \leq 8.5 \end{cases}$
Dissolved Oxygen	Rendah	di bawah 4 mg/L	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } X < 2 \\ \frac{4 - X}{5 - 4} & \text{if } 2 < X < 4 \\ 0 & \text{if } X \geq 4 \end{cases}$
	Optimal	4 mg/L hingga 6 mg/L	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } 5 \leq X \leq 6 \\ \frac{X - 4}{5 - 4} & \text{if } 4 \leq X < 5 \\ 0 & \text{if } X < 4 \text{ atau } X > 6 \end{cases}$
	Tinggi	di atas 6 mg/L	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } X \geq 7 \\ \frac{X - 6}{7 - 6} & \text{if } 6 \leq X < 7 \\ 0 & \text{if } X < 6 \end{cases}$
Ammonia	Optimal	0 hingga 0.05 mg/L	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } X \leq 0.025 \\ \frac{0.05 - X}{0.05 - 0.025} & \text{if } 0.025 < X \leq 0.05 \\ 0 & \text{if } X > 0.05 \end{cases}$
	Tinggi	di atas 0.05 mg/L	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } X > 0.05 \\ \frac{0.05 - X}{0.05 - 0.025} & \text{if } 0.025 < X \leq 0.05 \\ 0 & \text{if } X \leq 0.025 \end{cases}$

Tabel 3.2 Definisi Fungsi Keanggotaan (Lanjutan)

Parameter	Kategori	Batas	Fungsi Keanggotaan
Nitrate	Optimal	0.2 mg/L hingga 10 mg/L	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } 0.2 \leq X \leq 7.5 \\ \frac{10 - X}{10 - 7.5} & \text{if } 7.5 < X \leq 10 \\ 0 & \text{if } X < 0.2 \text{ atau } X > 10 \end{cases}$
	Tinggi	di atas 10 mg/L	$\mu = \begin{cases} 1 & \text{if } X > 10 \\ \frac{X - 7.5}{10 - 7.5} & \text{if } 7.5 \leq X \leq 10 \\ 0 & \text{if } X < 7.5 \end{cases}$

Fungsi keanggotaan dalam sistem pengambilan keputusan berbasis *fuzzy* digunakan untuk mengukur tingkat kecocokan parameter tertentu dengan kriteria yang telah ditentukan. Batas untuk setiap fungsi keanggotaan optimal menjamin bahwa parameter tersebut kondisi ideal untuk keberlangsungan hidup ikan. Pemilihan titik untuk batas bawah kategori rendah dan batas atas kategori tinggi memungkinkan sistem untuk mengenali dan merespons kondisi yang berpotensi merugikan. Menentukan batas bawah dan batas atas ini juga berfungsi sebagai *buffer* yang memberikan ruang untuk variabilitas sebelum parameter air mencapai batas yang lebih kritis. Pendekatan ini memungkinkan intervensi atau penyesuaian yang diperlukan sebelum kondisi air menjadi tidak dapat diterima.

Setiap jenis ikan memiliki parameter toleransi yang berbeda-beda: Ikan Mas dengan toleransi rendah, Ikan Gurame dengan toleransi sedang, dan Ikan Patin dengan toleransi tinggi. Tabel 3.4 menunjukkan rentang nilai toleransi ikan dari masing-masing parameter.

Tabel 3.4 Rentang Nilai Toleransi Ikan

Nama Ikan	Parameter	Toleransi Rendah	Toleransi Sedang	Toleransi Tinggi
Ikan Mas	Temperature	25 – 28		
	pH	7 – 8		
	Dissolved Oxygen	5 – 8		
	Ammonia	0.01 – 0.023		
	Nitrate	0.2 - 10		
Ikan Gurame	Temperature		27 – 30	
	pH		6.5 – 8	
	Dissolved Oxygen		3 – 5	

Tabel 3.4 Rentang Nilai Toleransi Ikan (Lanjutan)

Nama Ikan	Parameter	Toleransi Rendah	Toleransi Sedang	Toleransi Tinggi
Ikan Gurame	Ammonia		0.030 – 0.015	
	Nitrate		0.2 - 10	
Ikan Patin	Temperature			29 – 32
	pH			6 – 8.5
	Dissolved Oxygen			2 – 4
	Ammonia			0.05 – 0.025
	Nitrate			0.2 - 10

Aturan *fuzzy* akan digunakan dalam proses *labeling* dataset dengan menghubungkan kualitas air dengan jenis ikan dan toleransinya. Penelitian ini mengusulkan *Labeling* dataset melalui beberapa skenario yang menghasilkan jenis ikan cocok terhadap kondisi lingkungannya. Tabel 3.5 menunjukkan skenario untuk yang akan diimplementasikan ke dalam dataset.

Tabel 3.5 Skenario untuk melakukan labeling dataset kualitas air

	Aturan
Ikan Mas - Toleransi Rendah	Jika (Temperature Optimal) DAN (pH Optimal) DAN (DO Optimal) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrate Optimal) maka (Kualitas Air Cocok Untuk Ikan Mas)
Ikan Gurame - Toleransi Sedang	Jika (Temperature Optimal) DAN (pH Optimal) DAN (DO Optimal) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrat Optimal) maka (Kualitas Air Cocok Untuk Ikan Gurame).
	Jika (Temperature Rendah) DAN (pH Optimal) DAN (DO Optimal) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrat Optimal) maka (Kualitas Air Optimal).
	Jika (Temperature Optimal) DAN (pH Rendah) DAN (DO Optimal) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrat Optimal) maka (Kualitas Air Cocok Untuk Ikan Gurame).
	Jika (Temperature Optimal) DAN (pH Optimal) DAN (DO Rendah) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrat Optimal) maka (Kualitas Air Cocok Untuk Ikan Gurame).
Ikan Patin - Toleransi Tinggi	Jika (Temperature Optimal) DAN (pH Optimal) DAN (DO Optimal) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrat Optimal) maka (Kualitas Air Cocok Untuk Ikan Patin).
	Jika (Temperature Tinggi) DAN (pH Optimal) DAN (DO Rendah) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrat Optimal) maka (Kualitas Air Cocok Untuk Ikan Patin).
	Jika (Temperature Optimal) DAN (pH Tinggi) DAN (DO Rendah) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrat Optimal) maka (Kualitas Air Cocok Untuk Ikan Patin).

Tabel 3.5 Skenario untuk melakukan labeling dataset kualitas air (Lanjutan)

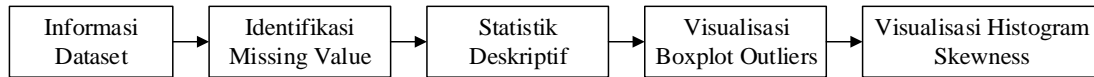
	Aturan
Ikan Patin – Toleransi Tinggi	Jika (Temperature Optimal) DAN (pH Optimal) DAN (DO Rendah) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrat Optimal) maka (Kualitas Air Cocok Untuk Ikan Patin).
	Jika (Temperature Optimal) DAN (pH Optimal) DAN (DO Tinggi) DAN (Ammonia Optimal) DAN (Nitrat Optimal) maka (Kualitas Air Cocok Untuk Ikan Patin).

Ikan mas menjadi salah satu komoditi perikanan air tawar yang berkembang sangat pesat (Khairuman, S. P., Amri, K., & Pi, S., 2008). Ikan dari family *Cyprinidae* ini tergolong sebagai ikan dengan toleransi rendah karena tidak dapat tumbuh optimal dengan kualitas air yang buruk melainkan air dengan kualitas yang baik (Dharmawantho, L., & Supriyanto, S., 2020; Ariyanto, D., Haryadi, J., Palimirmo, F. S., Suharyanto, S., & Himawan, Y., 2023).

Ikan gurame merupakan ikan dari family *Oshphronemidae*, di Indonesia ikan gurame dikenal sebagai ikan konsumsi penting (Kristina, M., & Sulantiwi, S., (2021). Ikan gurame dapat hidup di perairan yang sedikit asin karena kemampuannya untuk beradaptasi dengan lingkungan sangat baik namun perairan yang dianjurkan untuk lingkungan hidupnya adalah perairan air tawar (Saparinto, C., 2024).

Ikan patin merupakan family *Shark Catfish*, ikan patin disukai pembudidaya ikan karena kemampuan bertahan hidupnya diperairan dengan oksigen rendah. Hal tersebut dikarenakan ikan ini dilengkapi dengan alat bantu pernafasan berupa labirin (Apriyanti, S. S., 2022). Ikan patin berpotensi sebagai komoditi ekspor Indonesia karena ikan patin tergolong sukses di mancanegara setelah udang, salmon, dan nila menurut Departemen Perikanan dan Akuakultur FAO (*Food and Agriculture Organization*).

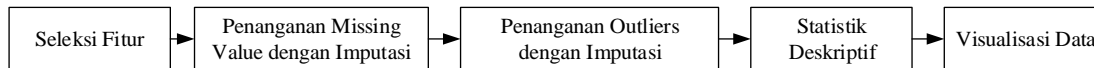
Setelah melakukan proses *labeling* dataset berdasarkan aturan yang sudah dibentuk, proses selanjutnya adalah *Exploratory Data Analysis* yang bertujuan untuk memahami distribusi dan karakteristik data. Analisis ini membantu dalam mengidentifikasi *missing values*, mengidentifikasi *outliers* dan pola yang ada dalam data. Gambar 3.3 merupakan tahapan dalam melakukan *Exploratory Data Analysis*.



Gambar 3.3 Tahapan Exploratory Data Analysis

3.3 Preprocessing Data

Tahap *preprocessing* data dilakukan setelah mengetahui hasil dari *Exploration Data Analysis*. Tujuan dilakukan *preprocessing* data yaitu untuk mengatasi *missing values* dan *outliers* pada dataset. Hal tersebut perlu ditangani guna mengoptimalkan penggunaan data, sehingga meningkatkan kinerja (Ozmedir, S., 2022). Gambar 3.4 menunjukkan tahapan *preprocessing* data.



Gambar 3.4 Tahapan Preprocessing Data

Proses *feature engineering* dilakukan dalam penanganan *missing values* dan *outliers* dapat dilakukan dengan beberapa metode. Pemilihan teknik bergantung pada karakteristik data dan tujuan analisis. Oleh karena itu, akan dilakukan uji coba dengan menerapkan teknik penanganan *missing value* menggunakan imputasi dengan metode *median*, sementara untuk *outliers* dilakukan imputasi dengan menggunakan metode *Interquartile Range (IQR)*. Selanjutnya akan dilihat kembali statistik deskriptif dan visualisasi data yang dihasilkan setelah melakukan imputasi, sehingga dapat menentukan langkah selanjutnya. Jika hasil dari imputasi tersebut masih memiliki nilai ekstrem dan *skewed*, maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

3.4 Optimasi Parameter Menggunakan Algoritma AI

Pada tahap *tuning* parameter, *genetic algorithm* akan diaplikasikan sebagai metode *tuning* parameter yang menitikberatkan pada optimalisasi model *fuzzy* yang telah dikembangkan pada dataset parameter air. Penelitian ini mengusulkan *genetic algorithm* untuk menyesuaikan parameter fungsi keanggotaan *fuzzy* sehingga menghasilkan klasifikasi yang akurat dan efisien berdasarkan dataset yang telah dilabeli.

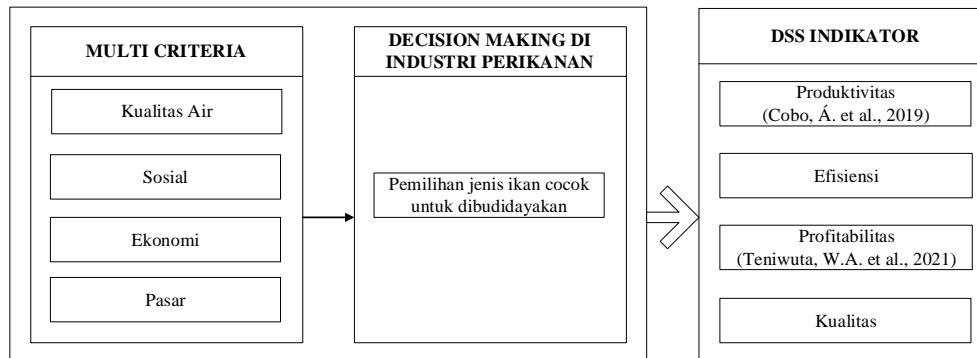
Genetic algorithm dipilih untuk menyesuaikan parameter *fuzzy* dengan tujuan untuk mencari kombinasi parameter yang optimal dalam ruang parameter yang besar. Selanjutnya, dataset akan dibagi menjadi tiga bagian: *training set*, *validation set*, dan *testing set*. Pembagian ini bertujuan untuk memastikan model tidak *overfitting* dan dapat dievaluasi secara obyektif. *Training set* akan digunakan untuk melatih model yang dimulai dengan proses inisiasi parameter awal yang dihasilkan secara acak. Lalu, algoritma optimasi akan mulai menyesuaikan parameter tersebut untuk menemukan kombinasi yang lebih baik.

Setiap iterasi optimasi, model akan diuji menggunakan *validation set* untuk mengevaluasi performa kombinasi parameter yang berbeda. Teknik *cross-validation* akan digunakan untuk memastikan bahwa hasil *tuning* tidak hanya berlaku untuk subset data tertentu tetapi juga dapat digeneralisasi ke seluruh dataset. *Validation set* memberikan *feedback* mengenai kinerja model dan membantu algoritma optimasi untuk memperbaiki parameter menuju konfigurasi optimal.

Setelah parameter terbaik ditemukan menggunakan *validation set*, model akhir akan dievaluasi menggunakan *testing set* yang tidak pernah digunakan dalam proses *tuning*. Tujuan evaluasi ini yaitu memberikan gambaran yang tidak bias tentang kinerja model pada data baru yang belum pernah dilihat sebelumnya.

3.5 Integrasi Multi Criteria Decision Making

Tahap ini, tujuan utamanya adalah mengintegrasikan berbagai aspek yang mempengaruhi keputusan pemilihan jenis ikan untuk budidaya, sehingga petani ikan dapat memulai dan mengelola industri perikanan dengan informasi yang lengkap dan holistik. Penelitian akan mengusulkan tiga kriteria yang relevan untuk diintegrasikan. Kriteria-kriteria ini mencakup aspek sosial, aspek ekonomi, dan aspek pasar yang akan dilakukan dengan cara survei dan wawancara. Gambar 3.2 menunjukkan *Conceptual Framework* dari usulan pengembangan DSS cerdas.



Gambar 3.5 *Conceptual Framework DSS*

Identifikasi *multi criteria* dimulai dengan aspek lingkungan yang di analisis dari model klasifikasi kualitas air yang telah dilatih, sistem akan mengidentifikasi kondisi kualitas air dan merekomendasikan jenis ikan yang sesuai berdasarkan kelas toleransi ikan. Aspek sosial dimaksudkan dengan melibatkan preferensi petani, meliputi kecenderungan atau keinginan petani terhadap jenis ikan tertentu berdasarkan pengalaman pribadi dan pengetahuan mereka. Hal ini dilakukan dengan mengumpulkan preferensi petani ikan mengenai kemudahan dan kesulitan dalam mengelola budidaya jenis ikan tertentu. Aspek sosial mencakup kenyamanan dan kepuasan petani dalam mengelola jenis ikan tertentu serta kesulitan yang dihadapi petani dalam manajemen, termasuk kebutuhan teknis dan pengawasan.

Desain model juga akan menyertakan pertimbangan ekonomi dalam pengambilan keputusan yang mencakup biaya operasional, potensi keuntungan, dan analisis kelayakan ekonomi dari setiap pilihan. Aspek ekonomi mencakup faktor-faktor seperti harga pakan, biaya perawatan, dan biaya investasi awal. Selanjutnya adalah kriteria yang mengacu pada aspek pasar yaitu terkait permintaan konsumen terhadap jenis ikan di pasar. Melibatkan analisis tren pasar, kebutuhan konsumen, dan potensi penjualan. Preferensi pasar terhadap jenis ikan tertentu, dapat menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan jenis ikan untuk dibudidayakan.

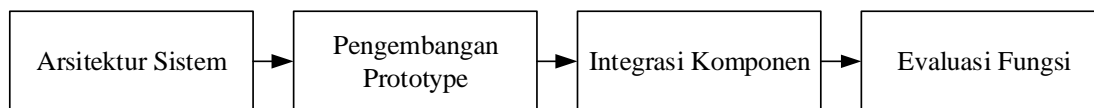
Setelah identifikasi kriteria, akan dilakukan proses bobotan kriteria. Pemberian bobot relatif pada setiap kriteria akan disesuaikan dengan berdasarkan prioritas dan relevansinya. Penelitian ini mengusulkan pembobotan melalui metode analitik seperti

Analytic Hierarchy Process (AHP) ataupun melalui konsultasi dengan ahli dan *stakeholder*.

Penelitian ini mengusulkan teknik *Weighted Sum Model* (WSM) atau *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) untuk mendesain model terintegrasi dari aspek kualitas air, sosial, ekonomi dan pasar. Penggunaan metode tersebut bertujuan untuk menghasilkan skor komposit untuk setiap jenis ikan yang dipertimbangkan. Evaluasi desain model terintegrasi dilakukan guna memastikan bahwa rekomendasi yang dihasilkan adalah akurat dan relevan. Model ini akan memberikan rekomendasi jenis ikan yang optimal untuk dibudidayakan di lokasi tertentu berdasarkan skor komposit yang mencakup semua aspek yang relevan. Sehingga, rekomendasi yang akan disajikan dalam DSS yang ramah pengguna dan memudahkan petani ikan dalam melihat berbagai pilihan jenis ikan dan faktor-faktor yang mendukung rekomendasi tersebut.

3.6 Pengembangan DSS Cerdas Industri Perikanan

Pengembangan DSS adalah langkah akhir yang diperlukan untuk memastikan sistem bekerja sesuai dengan harapan. Langkah pertama yaitu melakukan desain sistem dengan tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Tahapan Desain Sistem

Berdasarkan Gambar 3.8, langkah pertama adalah menyusun arsitektur sistem dengan mendefinisikan komponen utama dari DSS. Komponen utama tersebut mencakup modul input data, modul pengolahan data fuzzy, modul optimasi parameter, modul integrasi *multi-criteria*, serta modul output berupa rekomendasi.

Selanjutnya, mengembangkan *prototype* dengan mengimplementasikan desain sistem dalam bentuk kode pemrograman dan mendesain antarmuka pengguna yang *user-friendly*. Hal tersebut dilakukan guna memastikan bahwa pengguna dapat

memasukkan data kualitas air, memilih kriteria yang relevan, dan mendapatkan rekomendasi jenis ikan dengan mudah dan efisien.

Setelah itu, dilakukan integrasi komponen dengan pengujian unit untuk memastikan setiap modul berfungsi dengan baik secara terpisah. Kemudian, semua modul diintegrasikan dan diuji secara keseluruhan untuk memastikan bahwa mereka dapat berkomunikasi satu sama lain dengan baik.

Langkah terakhir adalah evaluasi fungsi (*functionality testing*), di mana setiap fungsi dalam DSS diuji untuk memastikan berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian ini mencakup skenario penggunaan dasar dan menggunakan pendekatan *black-box testing* untuk fokus pada *input* dan *output* tanpa melihat ke dalam kode sumber.

3.7 Jadwal Kegiatan

Tabel 3.5 Jadwal Kegiatan

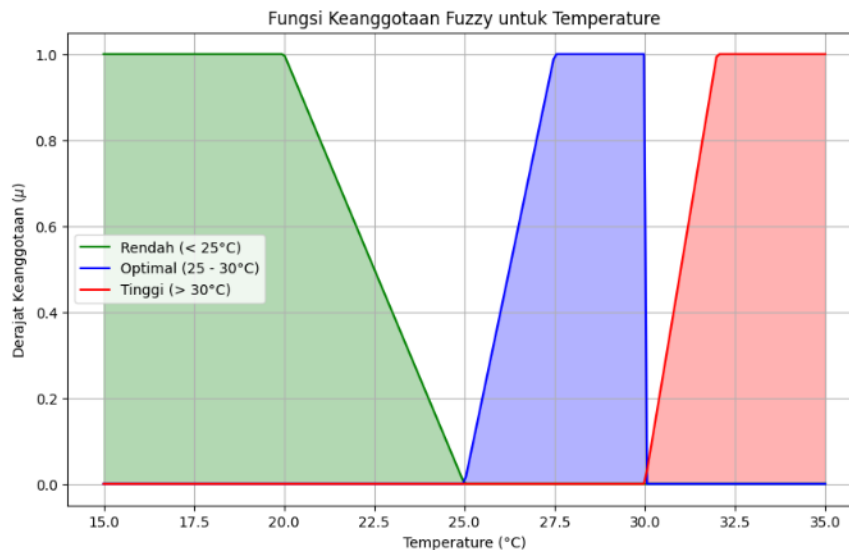
No	Uraian	Tahun 1		Tahun 2		Tahun 3	
		Sem1	Sem 2	Sem 1	Sem 2	Sem 1	Sem 2
1	Ujian Kualifikasi,	X					
2	Evaluasi Progres Pertama		X				
3	Mengajukan Hibah PDD		X	X			
4	Paper Seminar atau Jurnal Internasional		X				
5	Evaluasi Progres Kedua			X			
6	Evaluasi RKP				X		
7	Paper Kedua Jurnal Internasional					X	
8	Sidang Disertasi Tertutup						X
9	Sidang Disertasi Terbuka						X

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Tahap 1 Collection dan Preparation Data

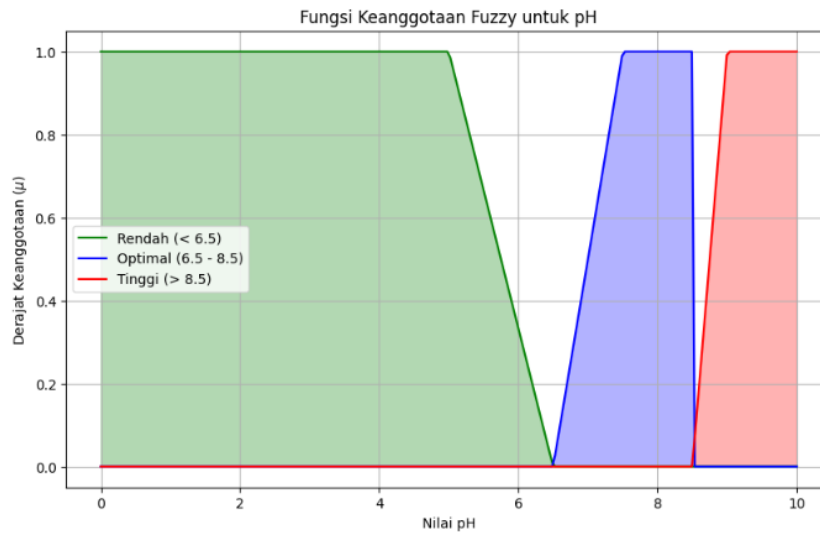
4.1.1 Visualisasi Fuzzification Masing-Masing Variabel

Visualisasi *Fuzzification* akan menunjukkan bagaimana fungsi keanggotaan *fuzzy* dapat digunakan untuk mengkategorikan parameter kualitas air ke dalam rentang rendah, optimal, dan tinggi. Dengan menggunakan fungsi-fungsi ini dapat memastikan kondisi kualitas air yang paling sesuai untuk kesehatan dan produktivitas ikan.



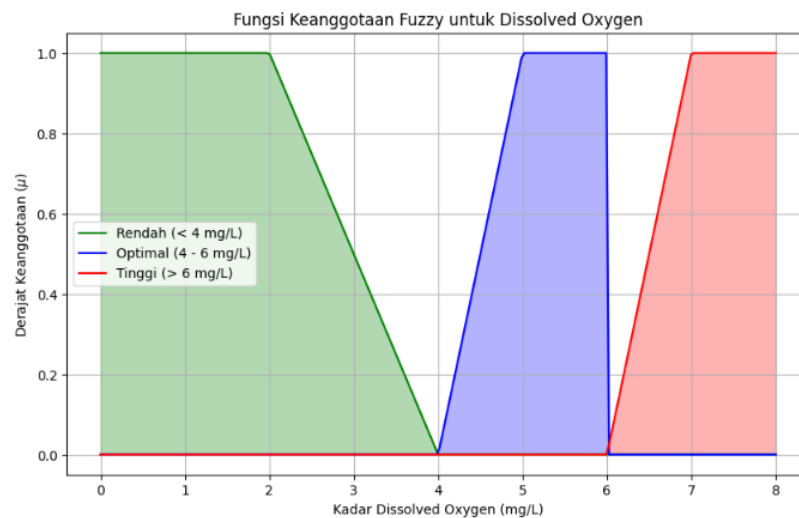
Gambar 4.1 Visualisasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Untuk Temperature

Berdasarkan Gambar 4.1, menunjukkan bahwa suhu rendah ($< 25^{\circ}\text{C}$) memiliki derajat keanggotaan 1 untuk suhu di bawah 20°C , menurun secara linear hingga 0 pada 25°C . Suhu optimal ($25 - 30^{\circ}\text{C}$) memiliki derajat keanggotaan 1 untuk suhu antara 27.5°C hingga 30°C , dengan peningkatan linear dari 0 ke 1 antara 25°C dan 27.5°C . Suhu tinggi ($> 30^{\circ}\text{C}$) memiliki derajat keanggotaan 1 di atas 32°C , dengan peningkatan linear dari 0 pada 30°C ke 1 pada 32°C . Suhu di bawah 20°C dianggap sangat tidak cocok untuk ikan, sementara suhu di atas 30°C mulai menjadi stres bagi ikan.



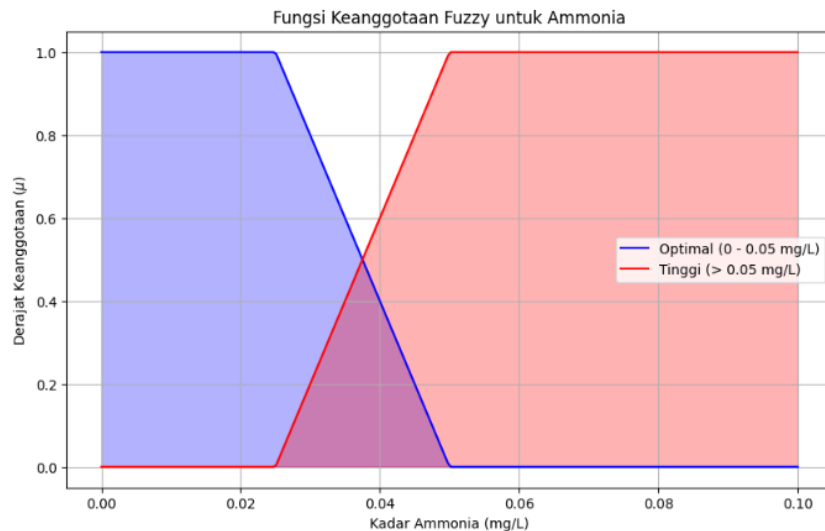
Gambar 4.2 Visualisasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Untuk pH

Berdasarga Gambar 4.2, menunjukkan bahwa pH rendah (< 6.5) memiliki derajat keanggotaan 1 untuk pH di bawah 5, menurun secara linear hingga 0 pada pH 6.5. pH optimal (6.5 - 8.5) memiliki derajat keanggotaan 1 untuk pH antara 7.5 dan 8.5, dengan peningkatan linear dari 0 ke 1 antara 6.5 dan 7.5. pH tinggi (> 8.5) memiliki derajat keanggotaan 1 di atas pH 9, dengan peningkatan linear dari 0 pada pH 8.5 ke 1 pada pH 9. pH di bawah 5 dianggap sangat asam dan tidak cocok untuk kebanyakan ikan, sementara pH di atas 8.5 terlalu basa dan bisa berbahaya bagi ikan.



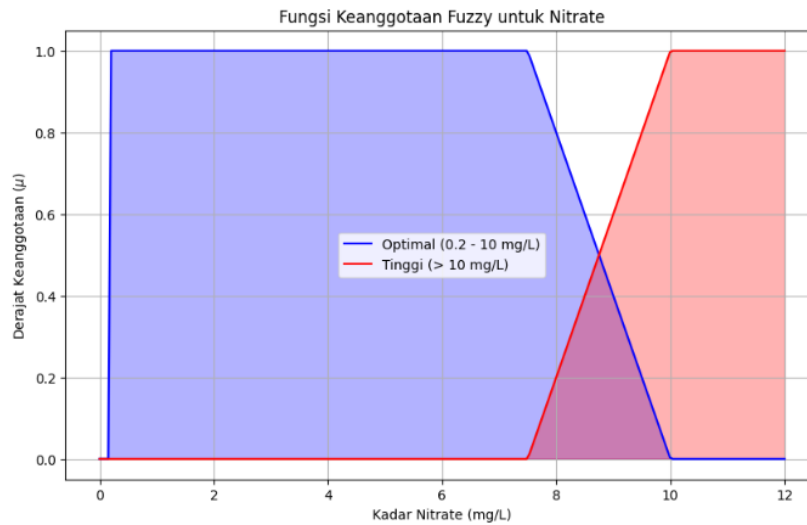
Gambar 4.3 Visualisasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Untuk Dissolved Oxygen

Berdasarkan Gambar 4.3, menunjukkan bahwa DO rendah (< 4 mg/L) memiliki derajat keanggotaan 1 untuk DO di bawah 2 mg/L, menurun secara linear hingga 0 pada 4 mg/L. DO optimal (4 - 6 mg/L) memiliki derajat keanggotaan 1 untuk DO antara 5 dan 6 mg/L, dengan peningkatan linear dari 0 ke 1 antara 4 dan 5 mg/L. DO tinggi (> 6 mg/L) memiliki derajat keanggotaan 1 di atas 7 mg/L, dengan peningkatan linear dari 0 pada 6 mg/L ke 1 pada 7 mg/L. Kadar oksigen terlarut yang rendah dianggap tidak cukup untuk mendukung kehidupan ikan, sementara kadar yang sangat tinggi lebih disukai dan sangat optimal untuk kebanyakan ikan.



Gambar 4.4 Visualisasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Untuk Ammonia

Berdasarkan Gambar 4.4, menunjukkan bahwa kadar optimal (0 - 0.05 mg/L) memiliki derajat keanggotaan 1 untuk ammonia di bawah 0.025 mg/L, menurun secara linear hingga 0 pada 0.05 mg/L. Kadar tinggi (> 0.05 mg/L) memiliki derajat keanggotaan 1 di atas 0.05 mg/L, dengan peningkatan linear dari 0 pada 0.025 mg/L ke 1 pada 0.05 mg/L. Kadar ammonia yang sangat rendah dianggap aman dan optimal untuk ikan, sementara kadar yang tinggi dianggap berbahaya dan bisa menyebabkan stres atau kematian pada ikan.



Gambar 4.5 Visualisasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Untuk Nitrate

Berdasarkan Gambar 4.5, menunjukkan bahwa kadar optimal (0.2 - 10 mg/L) memiliki derajat keanggotaan 1 untuk nitrate antara 0.2 mg/L dan 7.5 mg/L, menurun secara linear hingga 0 pada 10 mg/L. Kadar tinggi (> 10 mg/L) memiliki derajat keanggotaan 1 di atas 10 mg/L, dengan peningkatan linear dari 0 pada 7.5 mg/L ke 1 pada 10 mg/L. Kadar nitrate yang berada dalam rentang optimal dianggap aman untuk ikan, sementara kadar yang sangat tinggi dianggap berbahaya dan bisa menyebabkan masalah kesehatan bagi ikan.

4.1.2 Labeling Dataset

Tabel 4.1 menampilkan informasi dasar dari dataset parameter air yang akan diolah. Hasil mencakup jumlah nilai non-null, jenis data, dan variabel yang diukur.

Tabel 4.1 Output Informasi Dasar Dari Parameter Air

#	Column	Non-Null Count	Dtype
0	Station	74796 non-null	object
1	Date	74796 non-null	object
2	Time	74745 non-null	object
3	NITRATE (PPM)	74794 non-null	object
4	PH	74795 non-null	object
5	AMMONIA (mg/l)	74796 non-null	float64
6	TEMP	74790 non-null	float64
7	DO	74790 non-null	object

Berdasarkan Tabel 4.1, Kolom mencakup 'Station', 'Date', 'Time', 'Nitrate', 'pH', 'Ammonia', 'Temperature', 'Dissolved Oxygen', yang masing-masing berperan penting dalam keperluan analisis kualitas air. Jumlah nilai masing-masing parameter dapat diketahui, sehingga dapat teridentifikasi nilai yang hilang. Tipe data disimpan sebagai objek dan float64. Kolom seperti 'Ammonia', 'Temperature', dan 'Turbidity' telah menggunakan format float64 yang cocok untuk nilai numerik, namun tidak sesuai pada kolom 'Nitrate' dan 'pH' yang teridentifikasi sebagai tipe data objek. Kedua hal tersebut menunjukkan bahwa dataset ini memerlukan pembersihan data dan juga variabel yang tidak diperlukan pada analisis parameter air akan dihilangkan. Hasil ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Output informasi dasar dari dataset kualitas air yang diseleksi

#	Column	Non-Null Count	Dtype
1	NITRATE (PPM)	74794 non-null	float64
2	PH	74795 non-null	float64
3	AMMONIA (mg/l)	74796 non-null	float64
4	TEMP	74790 non-null	float64
5	DO	74790 non-null	float64
6	TURBIDITY	74796 non-null	float64
7	MANGANESE (mg/l)	74775 non-null	float64

Tabel 4.3 hingga Tabel 4.7 menampilkan hasil klasifikasi logika fuzzy untuk berbagai variabel. Setiap tabel menjelaskan kategori klasifikasi yang telah dibentuk serta derajat keanggotaan berdasarkan aturan yang telah ditetapkan sebelumnya.

Tabel 4.3 Output informasi lima baris pertama klasifikasi fuzzy logic temp

#	TEMP	temp_category	temp_membership
0	23.20	Rendah	1.0
1	23.21	Rendah	1.0
2	23.63	Rendah	1.0
3	23.64	Rendah	1.0
4	23.81	Rendah	1.0

Tabel 4.4 Output informasi lima baris pertama klasifikasi fuzzy logic ph

#	PH	ph_category	ph_membership
0	5.7	Rendah	0.53333333
1	5.1	Rendah	0.93333333
2	5.5	Rendah	0.66666667
3	5.2	Rendah	0.86666667
4	5.2	Rendah	0.86666667

Tabel 4.5 Output informasi lima baris pertama klasifikasi fuzzy logic DO

#	DO	do_category	do_membership
0	11.6	Tinggi	0
1	10.5	Tinggi	0
2	10.3	Tinggi	0
3	9.4	Tinggi	0
4	8.8	Tinggi	0

Tabel 4.6 Output informasi lima baris pertama klasifikasi fuzzy logic ammonia

#	AMMONIA	ammonia_category	ammonia_membership
0	0.01	Optimal	1
1	0.094	Tinggi	0
2	0.06	Tinggi	0
3	0.018	Optimal	1
4	0.038	Optimal	0.48

Tabel 4.7 Output informasi lima baris pertama klasifikasi fuzzy logic nitrate

#	NITRATE	nitrate_category	nitrate_membership
0	18.3	Tinggi	1
1	3.6	Optimal	1
2	13.1	Tinggi	1
3	18.1	Tinggi	1
4	10.8	Tinggi	1

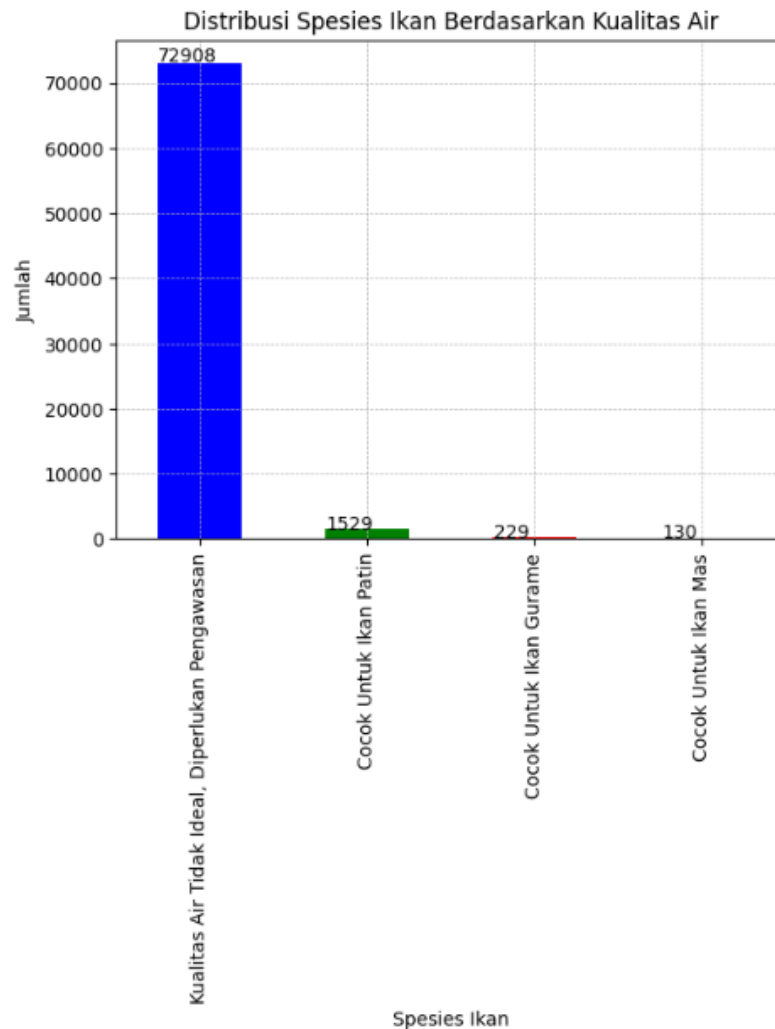
Hasil dari klasifikasi *fuzzy* yang telah dibentuk dengan menghubungkan parameter kualitas air an jenis ikan berdasarkan tingkat dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Output informasi jumlah klasifikasi berdasarkan *fish species*

Fish_Species	
Kualitas Air Tidak Ideal, Diperlukan Pengawasan	72908
Cocok Untuk Ikan Patin	1529
Cocok Untuk Ikan Gurame	229
Cocok Untuk Ikan Mas	130
Name: count, dtype: int64	

Berdasarkan tabel 4.7, sebagian besar situasi (72,908 data) dikategorikan sebagai "Kualitas Air Tidak Ideal, Diperlukan Pengawasan," menandakan kebutuhan untuk pemantauan lebih lanjut. Cocok untuk ikan patin, ada 1,529 data di mana kualitas air dianggap bertoleransi tinggi sehingga cocok untuk ikan patin. Cocok untuk ikan gurame dengan toleransi sedang jumlahnya adalah 229 kasus. Terkecil di antara semua, ikan mas hanya memiliki 130 kasus yang tergolong memiliki kualitas air yang cocok untuk toleransi rendah. Informasi bertujuan untuk mengidentifikasi spesies mana yang lebih toleran terhadap kondisi air yang kurang ideal dan membantu dalam penyesuaian

strategi pengelolaan sumber daya air. Gambar 4.6 menunjukkan distribusi spesies ikan berdasarkan kualitas air.



Gambar 4.6 Output visualisasi klasifikasi berdasarkan *fish species*

4.1.3 Exploration Data Analysis

Setelah melabeli dataset menjadi *final_classified_data*, dilakukan analisis eksplorasi data untuk memahami lebih lanjut tentang informasi yang terkandung. Tabel 4.8 menggambarkan output yang menunjukkan jumlah nilai non-null dan tipe data dari *final classified data*.

Tabel 4.8 Output informasi dasar dari final classified data

#	Column	Non-Null Count	Dtype
1	NITRATE (PPM)	74794 non-null	float64
2	PH	74795 non-null	float64
3	AMMONIA (mg/l)	74796 non-null	float64
4	TEMP	74790 non-null	float64
5	DO	74790 non-null	float64
6	TURBIDITY	74796 non-null	float64
7	MANGANESE (mg/l)	74775 non-null	float64
8	temp_category	74796 non-null	object
9	temp_membership	74796 non-null	float64
10	ph_category	74796 non-null	object
11	ph_membership	74796 non-null	float64
12	do_category	74796 non-null	object
13	do_membership	74796 non-null	float64
14	ammonia_category	74796 non-null	object
15	ammonia_membership	74796 non-null	float64
16	nitrate_category	74796 non-null	object
17	nitrate_membership	74796 non-null	float64
18	Fish_Species	74796 non-null	object

Tabel 4.9 menggambarkan hasil identifikasi nilai yang hilang dalam dataset yang terkait dengan kualitas air. Terdapat beberapa missing values yang berbeda-beda jumlahnya di tiap kolom: Nitrat (PPM) dan Temperatur (TEMP) masing-masing memiliki 6 nilai hilang, pH memiliki 2 nilai hilang, sedangkan Oksigen Terlarut (DO) memiliki 10 nilai hilang.

Tabel 4.9 Output identifikasi missing values

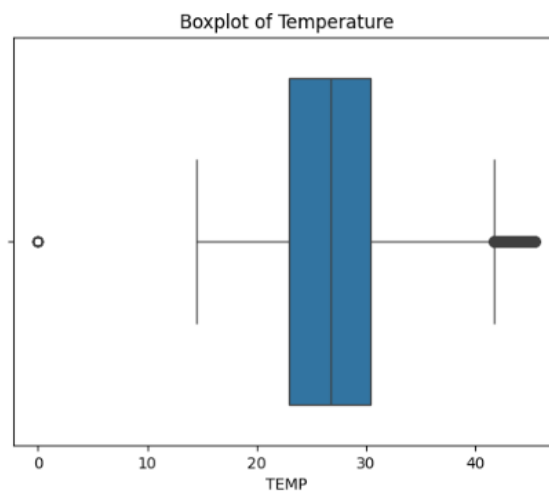
Jumlah nilai hilang per kolom:	
NITRATE (PPM)	6
PH	2
TEMP	6
DO	10
dtype: int64	

Data yang dihasilkan penting untuk memahami lokasi dan frekuensi kehilangan data, guna membantu dalam pengambilan keputusan mengenai metode pengisian data yang hilang atau perlunya penghapusan data tertentu untuk analisis lebih lanjut. Data tersebut disimpan dengan tipe data integer (int64). Gambar 4.7 menunjukkan output statistik deskriptif.

	NITRATE(PPM)	PH	AMMONIA(mg/l)	TEMP	DO	temp_membership	ph_membership	do_membership	ammonia_membership	nitrate_membership
count	74790.000000	74794.000000	74796.000000	74790.000000	74786.000000	74796.000000	74796.000000	74796.000000	74796.000000	74796.000000
mean	38.697145	6.543100	0.096175	27.225798	10.76190	0.696961	0.577300	0.195643	0.374088	0.979410
std	35.768914	1.109530	0.159865	5.973357	5.51028	0.407682	0.327463	0.350690	0.413445	0.115783
min	0.000000	4.500120	0.000998	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
25%	16.002200	5.700000	0.029600	22.920839	6.56727	0.310256	0.297000	0.000000	0.000000	1.000000
50%	27.550425	6.400000	0.044800	26.818950	9.10000	1.000000	0.574160	0.000000	0.208000	1.000000
75%	39.501575	7.301992	0.103163	30.430000	14.99178	1.000000	0.927525	0.231825	0.816000	1.000000
max	153.395200	9.006800	1.872000	45.499500	25.49759	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000

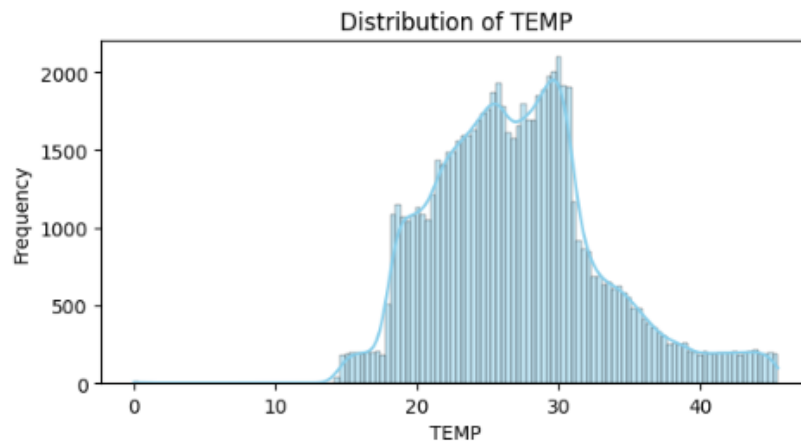
Gambar 4.7 Output Statistik Deskriptif

Berikut ini merupakan hasil dari identifikasi outliers data yang divisualisasikan dalam bentuk boxplot dan histogram. Tujuan dari visualisasi ini adalah untuk mengidentifikasi dan meninjau distribusi serta variasi ekstrem dalam data, yang dapat membantu dalam analisis lebih lanjut dan pengambilan keputusan yang informasi.



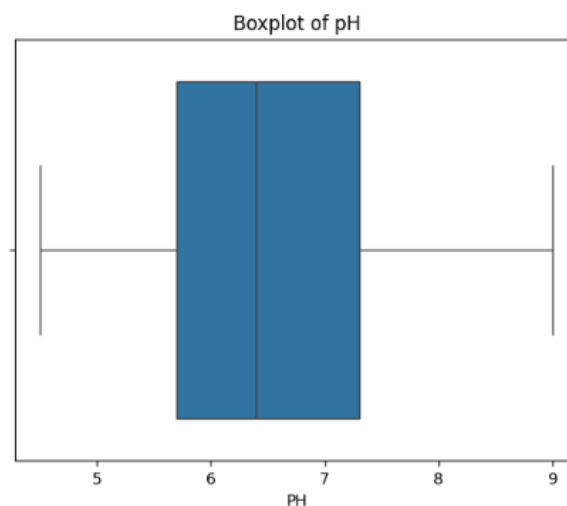
Gambar 4.8 Output visualisasi boxplot outliers temp

Gambar 4.8, Boxplot menunjukkan distribusi *temperature* dengan median cukup jelas di sekitar 25 derajat Celsius. Rentang interkuartil (IQR) yang ditampilkan melalui box tebal terlihat sempit, yang menunjukkan bahwa sebagian besar data terkonsentrasi di sekitar median. Lalu, garis horizontal yang meluas dari kotak menandakan jangkauan total data, sementara titik yang terpisah dari garis tersebut menunjukkan outlier, yakni data yang jauh dari nilai lainnya. Adanya outlier pada sisi kiri menunjukkan adanya beberapa pengukuran suhu yang sangat rendah dibandingkan dengan sebagian besar data.



Gambar 4.9 Output visualisasi histogram skewness temp

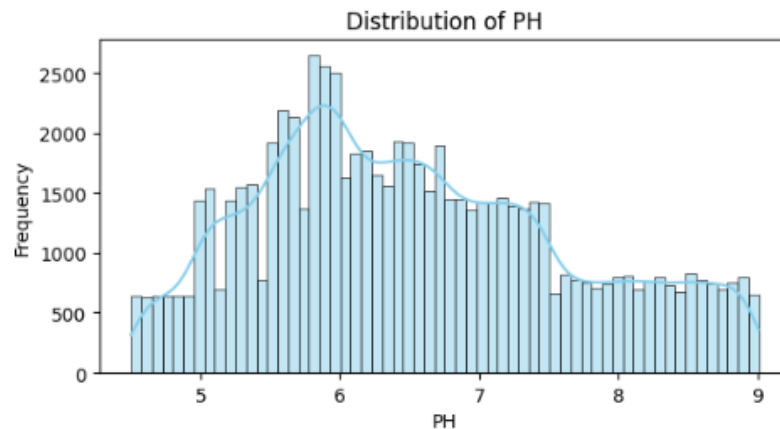
Berdasarkan Gambar 4.9, histogram menampilkan distribusi frekuensi *temperature*, dengan bentuk yang menunjukkan kecondongan ke kiri (skewness negatif). Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar data mengumpul di sisi kanan grafik, dengan frekuensi yang menurun secara signifikan pada nilai suhu yang lebih tinggi. Puncak yang tajam dan distribusi yang condong ini menunjukkan variasi pada *temperature* dengan kecenderungan lebih banyak data pada suhu rendah, namun tidak banyak nilai yang sangat rendah, sebagaimana ditunjukkan oleh *outlier* di boxplot.



Gambar 4.10 Output visualisasi boxplot outliers pH

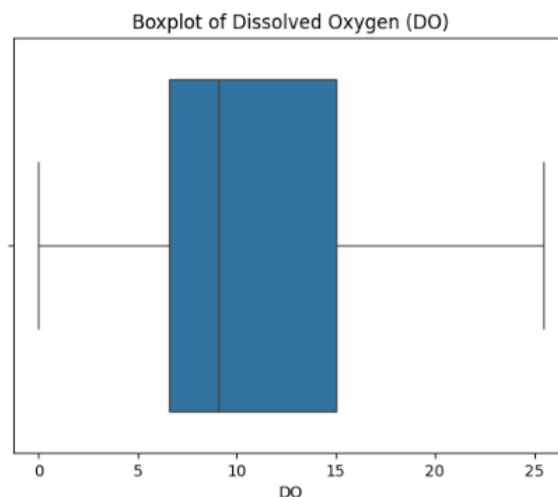
Berdasarkan Gambar 4.10, boxplot menunjukkan distribusi nilai pH dengan rentang interkuartil yang lebih lebar dibandingkan dengan boxplot *temperature*.

Median tampak berada di sekitar pH 7, yang umum dianggap netral dan ideal untuk banyak aplikasi air. Garis horizontal yang terentang dari kotak menandakan kisaran umum nilai pH, dengan tidak adanya outlier yang jelas, menunjukkan bahwa sebagian besar pengukuran pH berkumpul dekat dengan nilai tengah.



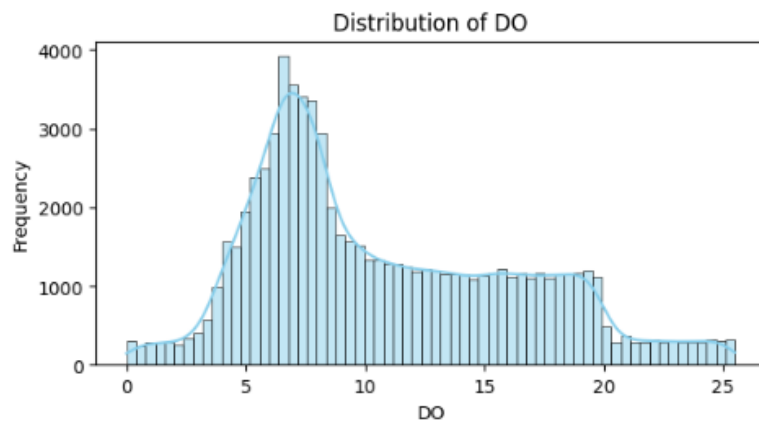
Gambar 4.11 Output visualisasi histogram skewness pH

Berdasarkan Gambar 4.11, histogram memperlihatkan distribusi frekuensi nilai pH dengan skewness positif ringan, menunjukkan bahwa sebagian besar pengukuran berada di bawah nilai median tetapi ada juga frekuensi yang cukup untuk nilai lebih tinggi. Puncak histogram yang tajam dekat nilai pH 7 menandakan bahwa ini adalah nilai yang paling sering terjadi, sementara distribusi yang lebih rata di sisi kanan dan kiri menunjukkan variasi yang lebih luas dibandingkan dengan suhu.



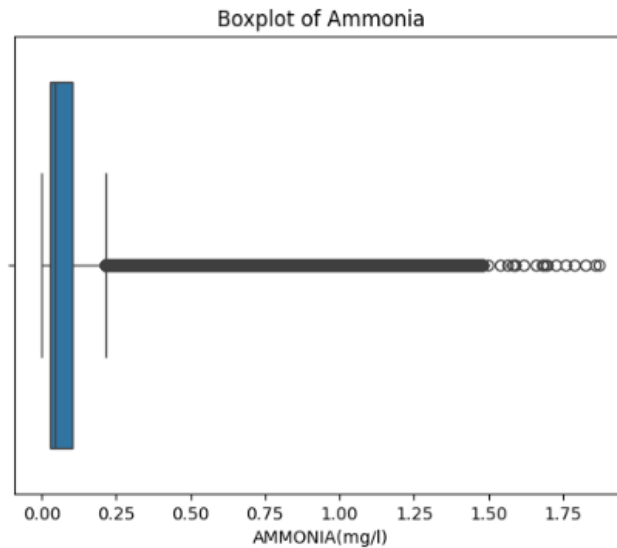
Gambar 4.12 Output visualisasi boxplot outliers DO

Berdasarkan Gambar 4.12, boxplot menunjukkan median yang terletak sekitar 10 mg/L, dengan rentang interkuartil yang relatif sempit, menandakan konsentrasi sebagian besar data yang terpusat. Garis horizontal yang mengextend dari box mengindikasikan range data yang lebih luas, tetapi tidak ada *outlier* yang tampak, menunjukkan bahwa semua pengukuran berada dalam batas yang diharapkan untuk data DO dalam kumpulan ini.



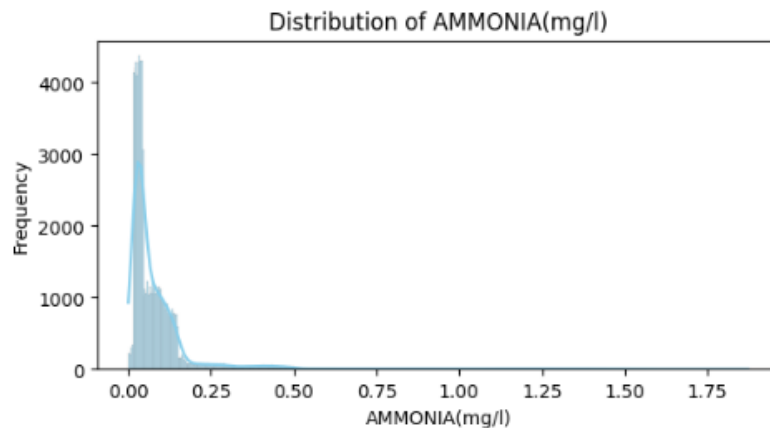
Gambar 4.13 Output visualisasi histogram skewness DO

Berdasarkan Gambar 4.13, histogram menunjukkan distribusi frekuensi nilai DO dengan bentuk yang lebih berat di sisi kiri (skewness negatif). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar pengukuran memiliki konsentrasi DO yang rendah dengan jumlah yang menurun secara signifikan untuk nilai DO yang lebih tinggi. Puncak pada histogram menunjukkan bahwa nilai-nilai DO yang lebih rendah lebih sering terjadi, sementara pengukuran yang lebih tinggi menjadi semakin jarang.



Gambar 4.14 Output visualisasi boxplot outliers ammonia

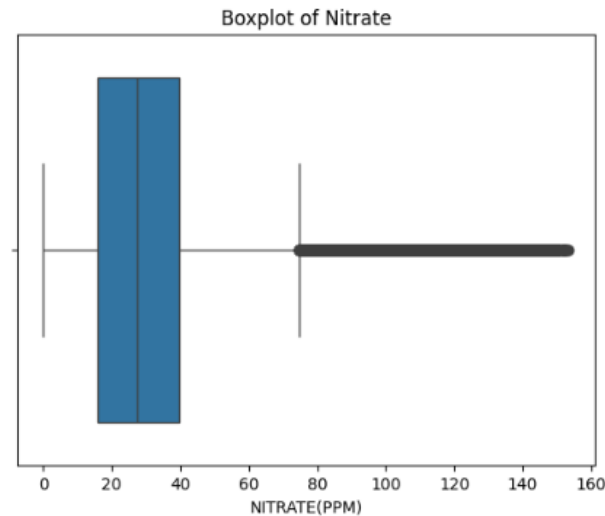
Berdasarkan Gambar 4.14, boxplot menunjukkan distribusi nilai ammonia yang sangat terkonsentrasi di dekat nol, dengan rentang interkuartil yang sangat sempit. Ini menandakan bahwa sebagian besar pengukuran ammonia adalah rendah. Terdapat banyak *outlier* yang terlihat jauh dari nilai pusat, mencerminkan beberapa pengukuran ammonia yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan mayoritas data.



Gambar 4.15 Output visualisasi histogram skewness ammonia

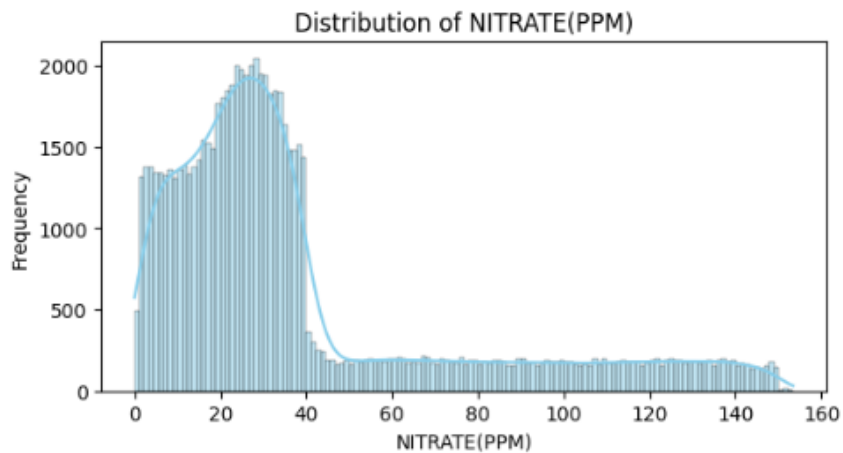
Berdasarkan Gambar 4.15, histogram memperlihatkan distribusi frekuensi nilai ammonia yang sangat condong ke nilai rendah, dengan puncak yang tajam sangat dekat dengan nol. Distribusi menunjukkan bahwa sebagian besar pengukuran memiliki konsentrasi ammonia yang sangat rendah. Frekuensi pengukuran menurun secara

drastis seiring dengan peningkatan konsentrasi ammonia, dan pengukuran dengan konsentrasi tinggi sangat jarang.



Gambar 4.16 Output visualisasi boxplot outliers nitrate

Berdasarkan Gambar 4.16, Boxplot menampilkan median yang relatif rendah dan rentang interkuartil yang juga sempit, yang menunjukkan bahwa sebagian besar pengukuran nitrat berkumpul di nilai yang lebih rendah. Terdapat beberapa outlier yang jauh melebihi rentang interkuartil dan nilai median, menunjukkan adanya beberapa pengukuran nitrat yang sangat tinggi dibandingkan dengan kebanyakan data.



Gambar 4.17 Output visualisasi histogram skewness nitrate

Berdasarkan Gambar 4.17, histogram menunjukkan distribusi frekuensi nilai nitrate yang sangat condong ke kiri, dengan puncak yang tajam dan tinggi dekat dengan

nilai nol hingga sekitar 40 PPM, menandakan bahwa nitrat umumnya terdapat dalam konsentrasi rendah dalam sampel ini. Frekuensi pengukuran menurun dengan cepat seiring dengan peningkatan konsentrasi nitrat, dan pengukuran dengan konsentrasi sangat tinggi terlihat sangat jarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Tawwab, M., Monier, M.N., Hoseinifar, S.H. and Faggio, C., 2019. Fish response to hypoxia stress: growth, physiological, and immunological biomarkers. *Fish physiology and biochemistry*, 45, pp.997-1013. DOI: 10.1007/s10695-019-00614-9.
- Abdolrasol, M. G., Hussain, S. S., Ustun, T. S., Sarker, M. R., Hannan, M. A., Mohamed, R., Ali, J. A., Mekhilef, S., and Milad, A. (2021). Artificial neural networks based optimization techniques: A review. *Electronics*, 10(21), 2689. DOI: 10.3390/electronics10212689.
- Adereti, D.T., Gardezi, M., Wang, T. and McMaine, J., 2023. Understanding farmers' engagement and barrier to machine learning-based intelligent agricultural decision support systems. *Agronomy Journal*. DOI: 10.1002/agj2.21358.
- Ahmed, M., Rahaman, M.O., Rahman, M. and Kashem, M.A., 2019, December. Analyzing the Quality of Water and Predicting the Suitability for Fish Farming based on IoT in the Context of Bangladesh. In 2019 International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI) (pp. 1-5). IEEE. DOI: 10.1109/STI47673.2019.9068050.
- Anderson, C.M., Krigbaum, M.J., Arostegui, M.C., Feddern, M.L., Koehn, J.Z., Kuriyama, P.T., Morrisett, C., Allen Akselrud, C.I., Davis, M.J., Fiamengo, C. and Fuller, A., 2019. How commercial fishing effort is managed. *Fish and Fisheries*, 20(2), pp.268-285. DOI: 10.1111/faf.12339.
- Anwar, A., & Nasir, B. T. (2019). OPTIMASI KEPADATAN *Skeletonema costatum* TERHADAP LAJU HIPOKSIA PADA UDANG VANNAMEI (*Litopenaeus vannamei*). *OCTOPUS: JURNAL ILMU PERIKANAN*, 8(1), 33-40. DOI:
- Apriyanti, S. S. (2022). TA: PERTUMBUHAN DAN TINGKAT KELANGSUNGAN HIDUP, PRODUKSI BENIH IKAN PATIN SIAM

- (*Pangasius hypophthalmus*) DI BAK FIBER (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Lampung).
- Ariyanto, D., Haryadi, J., Palimirmo, F. S., Suharyanto, S., & Himawan, Y. (2023). KETAHANAN IKAN MAS HIBRIDA MAJALAYA>< SUTISNA TERHADAP INFEKSI *Aeromonas hydrophila* DAN CEKAMAN LINGKUNGAN ABIOTIK. *Jurnal Riset Akuakultur*, 17(2), 95-107. DOI: 10.15578/jra.17.2.2022.95-107.
- Aruldoss, M., Lakshmi, T.M. and Venkatesan, V.P., 2013. A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), pp.31-43. DOI: 10.12691/ajis-1-1-5.
- Barsacchi, M., Bechini, A., Ducange, P., & Marcelloni, F. (2019). Optimizing partition granularity, membership function parameters, and rule bases of fuzzy classifiers for big data by a multi-objective evolutionary approach. *Cognitive Computation*, 11, 367-387. DOI: 10.1007/s12559-018-9613-6.
- Bautista, M. G. A. C., Palconit, M. G. B., Rosales, M. A., Concepcion II, R. S., Bandala, A. A., Dadios, E. P., & Duarte, B. (2022). Fuzzy logic-based adaptive aquaculture water monitoring system based on instantaneous limnological parameters. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 26(6), 937-943. DOI: 10.20965/jaciii.2022.p0937.
- Berona, E., Buntag, D., Tan, M.J. and Coronado, A., 2016. Web-Based Decision Support System for Water Quality Monitoring and Prediction for Outdoor Microalgae Cultivation. *IOSR Journal of Computer Engineering*, 18, pp.2278-661. DOI: 10.9790/0661-1803061620.
- Bhatnagar, A. and Devi, P., 2013. Water quality guidelines for the management of pond fish culture. *International journal of environmental sciences*, 3(6), pp.1980-2009. DOI: 10.6088/ijes.2013030600019.
- Bourechak, A., Zedadra, O., Kouahla, M.N., Guerrieri, A., Seridi, H. and Fortino, G., 2023. At the Confluence of Artificial Intelligence and Edge Computing in IoT-

- Based Applications: A Review and New Perspectives. *Sensors*, 23(3), p.1639. DOI: 10.3390/s23031639.
- Bressan, G. M., Azevedo, B. C. F. D., and Souza, R. M. D. (2020). A fuzzy approach for diabetes mellitus type 2 classification. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 63, e20180742. DOI:
- Brown, R., & Johnson, K. (2021). A Genetic Algorithm-Based Neuro-Fuzzy Controller for Unmanned Aerial Vehicle Control. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 9(3), 134-148. DOI: 10.4018/IJAMC.292505.
- Canale, R.P. and Chapra, S.C., 2016. Decision support models for assessing the impact of aquaculture on river water quality. *Journal of Environmental Engineering*, 142(10), p.03116001. DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001115.
- Carlson, A.K., Rubenstein, D.I. and Levin, S.A. 2020. Linking multiscale fisheries using metacoupling models. *Frontiers in Marine Science*, 7, p.614. DOI: 10.3389/fmars.2020.00614.
- Castro Junior, S. L., Lamarca, D. S. F., Kraetzer, T. L., Balthazar, G. Da R., and Caneppele, F. 2022. System based on fuzzy logic for diagnosis of water quality for the cultivation of Nile tilapia. *Research, Society and Development*, 1(11). DOI: 10.33448/rsd-v1i11.26933.
- Chakraborty, S., 2022. TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*, 2, p.100021. DOI: 10.1016/j.dajour.2021.100021.
- Chiu, M.C., Yan, W.M., Bhat, S.A. and Huang, N.F., 2022. Development of smart aquaculture farm management system using IoT and AI-based surrogate models. *journal of Agriculture and Food Research*, 9, p.100357. DOI: 10.1016/j.jafr.2022.100357.
- Cobo, Á., Llorente, I., Luna, L. and Luna, M., 2019. A decision support system for fish farming using particle swarm optimization. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, pp.121-130. DOI: 10.1016/j.compag.2018.03.036.

- Coccia, M., 2020. Fishbone diagram for technological analysis and foresight. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 14(2-4), pp.225-247. DOI: 10.1504/IJFIP.2020.111221.
- Das, H., Naik, B., & Behera, H. S. (2020). Medical disease analysis using neuro-fuzzy with feature extraction model for classification. *Informatics in Medicine Unlocked*, 18, 100288. DOI: 10.1016/j.imu.2019.100288.
- Demeke, A. and Tassew, A., 2016. A review on water quality and its impact on fish health. *International journal of fauna and biological studies*, 3(1), pp.21-31.
- Devi, P.A., Padmavathy, P., Aanand, S. and Aruljothi, K., 2017. Review on water quality parameters in freshwater cage fish culture. *International Journal of Applied Research*, 3(5), pp.114-120.
- Dharmawantho, L., and Supriyanto, S. (2020). TOLERANSI IKAN MAS (*Cyprinus carpio*) HIBRIDA PADA LINGKUNGAN pH BERBEDA. *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, 18(2), 123-125. DOI: 10.15578/blta.18.2.2020.123-125.
- Djatna, T., & Ginantaka, A. (2020). Traceability of information routing based on fuzzy associative memory modelling in fisheries supply chain. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22(2), 724-734. DOI: 10.1007/s40815-019-00754-3.
- El Bably, M.A., Emeash, H.H. and N Mohamed, A., 2010. Influence of water quality on fish productivity. *Journal of Veterinary Medical Research*, 20(1), pp.313-318. DOI: 10.21608/jvmr.2020.77634.
- Elnoury, A. and ElWakel, M., 2023. Using Multiple Criteria Decision Making Application to Select Subpar Ships Accordance To Challenges of Modern Technology. *AIN Journal*, (45). DOI: 10.59660/45112.
- FAO, F.A.A.D, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the Sustainable Development Goals.
- Fauzia, S. R., & Suseno, S. H. (2020). Resirkulasi air untuk optimalisasi kualitas air budidaya ikan nila nirwana (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat (PIM)*, 2(5), 887-892. DOI:

- Florek, P. and Zagdański, A., 2023. Benchmarking state-of-the-art gradient boosting algorithms for classification. arXiv preprint. DOI : 10.48550/arxiv.2305.17094.
- Francisco, H. R., Fabrício Corrêa, A., & Feiden, A. (2019). Classification of areas suitable for fish farming using geotechnology and multi-criteria analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(9), 394. DOI: 10.3390/ijgi8090394.
- Gao, G., Xiao, K. and Chen, M., 2019. An intelligent IoT-based control and traceability system to forecast and maintain water quality in freshwater fish farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, p.105013. DOI: 10.1016/j.compag.2019.105013.
- Harada, T., & Alba, E. (2020). Parallel genetic algorithms: a useful survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 53(4), 1-39. DOI: 10.1145/3400031.
- Hu, Z., Zhang, Y., Zhao, Y., Xie, M., Zhong, J., Tu, Z. and Liu, J., 2019. A water quality prediction method based on the deep LSTM network considering correlation in smart mariculture. *Sensors*, 19(6), p.1420. DOI: 10.3390/s19061420.
- Hu, F., Zhong, H., Wu, C., Wang, S., Guo, Z., Tao, M., Zhang, C., Gong, D., Gao, X., Tang, C. and Wei, Z., 2021. Development of fisheries in China. *Reproduction and Breeding*, 1(1), pp.64-79. DOI: 10.1016/j.repbre.2021.03.003.
- Ina-Salwany, M.Y., Al-saari, N., Mohamad, A., Mursidi, F.A., Mohd-Aris, A., Amal, M.N.A., Kasai, H., Mino, S., Sawabe, T. and Zamri-Saad, M., 2019. Vibriosis in fish: a review on disease development and prevention. *Journal of aquatic animal health*, 31(1), pp.3-22. DOI: 10.1002/aah.10045.
- Izvozchikova, V. V., Tlegenova, T. E., & Markovin, V. V. (2022, February). Development of an intelligent learning system based on fuzzy logic. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1227, No. 1, p. 012007). IOP Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/1227/1/012007.

- Jane, J. B., & Ganesh, E. N. (2019). A review on big data with machine learning and fuzzy logic for better decision making. *Int. J. Sci. Technol. Res*, 8(10), 1221-1225.
- Jiménez, F., Martínez, C., Marzano, E., Palma, J. T., Sánchez, G., & Sciavicco, G. (2019). Multiobjective evolutionary feature selection for fuzzy classification. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 27(5), 1085-1099. DOI: 10.1109/TFUZZ.2019.2892363.
- Jossart, J., Theuerkauf, S.J., Wickliffe, L.C. and Morris Jr, J.A., 2020. Applications of spatial autocorrelation analyses for marine aquaculture siting. *Frontiers in Marine Science*, 6, p.806. DOI: 10.3389/fmars.2019.00806.
- Jung, Y., 2018. Multiple predicting K-fold cross-validation for model selection. *Journal of Nonparametric Statistics*, 30(1), pp.197-215. DOI: 10.1080/10485252.2017.1404598.
- Kale, S. S., & Patil, P. S. (2019). Data mining technology with fuzzy logic, neural networks and machine learning for agriculture. In *Data Management, Analytics and Innovation: Proceedings of ICDMAI 2018, Volume 2* (pp. 79-87). Springer Singapore. DOI: 10.1007/978-981-13-1274-8_6.
- Kasimatis, C.N., Psomakelis, E., Katsenios, N., Katsenios, G., Papatheodorou, M., Vlachakis, D., Apostolou, D. and Efthimiadou, A., 2022. Implementation of a decision support system for prediction of the total soluble solids of industrial tomato using machine learning models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, p.106688. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106688.
- Khairuman, S. P., Amri, K., & Pi, S. (2008). *Buku Pintar Budi Daya 15 Ikan Konsumsi*. AgroMedia.
- Konar, A., 2018. *Artificial intelligence and soft computing: behavioral and cognitive modeling of the human brain*. CRC press.
- Kopanitsa, G., Metsker, O. and Kovalchuk, S., 2023. Machine Learning Methods for Pregnancy and Childbirth Risk Management. *Journal of Personalized Medicine*, 13(6), p.975. DOI: 10.3390/jpm13060975.

- Kristina, M., & Sulantiwi, S. (2021). SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN MENENTUKAN KUALITASBIBIT IKAN GURAMEDİ PEKON SUKOSARI MENGGUNAKAN APLIKASI VISUAL BASIC 6.0. *Jurnal TAM (Technology Acceptance Model)*, 4, 26-33. DOI: 10.56327/jurnaltam.v4i0.34.
- Kyeremeh, K., 2019. Overview of system development life cycle models. Available at SSRN 3448536. DOI: 10.2139/ssrn.3448536.
- Lafont, M., Dupont, S., Cousin, P., Vallauri, A. and Dupont, C., 2019, June. Back to the future: IoT to improve aquaculture: Real-time monitoring and algorithmic prediction of water parameters for aquaculture needs. In 2019 Global IoT Summit (GIOTS) (pp. 1-6). IEEE. DOI: 10.1109/GIOTS.2019.8766436.
- Lailossa, G.W., Artana, K.B., Pujawan, N. and Dinariyana, A.B., 2016. Model of strategy quality improvement of tuna and other species in the cold chain system (FUZZY expert systems approach). *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 9(5), pp.1154-1166. DOI:
- Lambora, A., Gupta, K., & Chopra, K. (2019, February). Genetic algorithm-A literature review. In 2019 international conference on machine learning, big data, cloud and parallel computing (COMITCon) (pp. 380-384). IEEE. DOI: 10.1109/COMITCon.2019.8862255.
- Lee, C., & Wang, H. (2022). Fault diagnosis for cooling dehumidifier based on fuzzy classifier optimized by adaptive genetic algorithm. *Heliyon*, 8(12), e11123. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e12057.
- Lombardo, S., Israel, S. and Wood, D., 2022, March. The Environment-Vulnerability-Decision-Technology Framework for Decision Support in Indonesia. In 2022 IEEE Aerospace Conference (AERO) (pp. 1-15). IEEE. DOI: 10.1109/AERO53065.2022.9843544.
- Luna, M., Llorente, I., & Cobo, A. (2022). Determination of feeding strategies in aquaculture farms using a multiple-criteria approach and genetic algorithms.

- Annals of Operations Research, 314(2), 551-576. DOI: 10.1007/s10479-019-03227-w.
- Loyola-Gonzalez, O., 2019. Black-box vs. white-box: Understanding their advantages and weaknesses from a practical point of view. IEEE access, 7, pp.154096-154113. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2949286.
- Magd, H., Jonathan, H. and Khan, S. A., & Geddawy. 2023. in A. I.-T. D. F. of Industry 4.0. In J. M. Chatterjee, H. Garg & R. N. Thakur, eds, 'EI', A Roadmap for Enabling Industry 4.0 by Artificial Intelligence. Scrivener Publishing LLC, pp. 1–14.
- Martin, J.N., 2020. Systems engineering guidebook: A process for developing systems and products. CRC press.
- Maulianawati, D., & Lembang, M. S. (2022). Kualitas Air Akuakultur. Syiah Kuala University Press.
- Meritha, W.W., Suprayudi, M.A. and Ekasari, J., 2018. The growth performance and resistance to salinity stress of striped catfish *Pangasius* sp. juvenile in biofloc system with different feeding rates. Jurnal Akuakultur Indonesia, 17(2), pp.113-119. DOI: 10.19027/jai.17.2.113-119.
- Miller, J.D., 2017. Statistics for data science: Leverage the power of statistics for data analysis, classification, regression, machine learning, and neural networks. Packt Publishing Ltd.
- Mukhiya, S.K. and Ahmed, U., 2020. Hands-On Exploratory Data Analysis with Python: Perform EDA techniques to understand, summarize, and investigate your data. Packt Publishing Ltd .
- Musmedi, D. P., Harini, Y., & Setyanti, S. W. L. H. (2022). Implementation of fuzzy logic model for fish supplier selection. World Journal of Advanced Research and Reviews, 15(3), 115-124. DOI: 10.30574/wjarr.2022.15.3.0901.
- Mustika, R., Mahreda, E.S., Kurniawaty, F., Rizqiady, Y. and Kartika, W., 2021. Production Management and Feasibility of Patin (*Pangasius* Sp.) Cultivation in

- Banjar Regency, South Kalimantan Province, Indonesia. *Journal of Economics, Finance and Management Studies*. DOI: 10.47191/jefms/v4-i5-30.
- Nayan, A.A., Kibria, M.G., Rahman, M.O. and Saha, J., 2020, November. River water quality analysis and prediction using GBM. In 2020 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technology (ICAICT) (pp. 219-224). IEEE. DOI : 10.1109/ICAICT51780.2020.9333492.
- Nayan, A.A., Mozumder, A.N., Saha, J., Mahmud, K.R., Azad, A.K.A. and Kibria, M.G., 2021. A machine learning approach for early detection of fish diseases by analyzing water quality. *arXiv preprint arXiv:2102.09390*. DOI: 10.48048/tis.2021.351.
- Oglend, A., 2020. Challenges and opportunities with aquaculture growth. *Aquaculture Economics & Management*, 24(2), pp.123-127. DOI: 10.1080/13657305.2019.1704937.
- Oyediran, A.G., Uche, F.O. and Olaoti, K.S., 2021. *Fisheries Technology. Agricultural Technology for Colleges*, p.370.
- Ozdemir, S., 2022. *Feature Engineering Bookcamp*. Simon and Schuster.
- Ozdemir, S. and Susarla, D., 2018. *Feature Engineering Made Easy: Identify unique features from your dataset in order to build powerful machine learning systems*. Packt Publishing Ltd.
- Panudju, A.T., Rahardja, S. and Nurilmala, M., 2023. Decision Support System in Fisheries Industry: Current State and Future Agenda. *International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology*, 13(2). DOI: 10.18517/ijaseit.13.2.17914.
- Patel, R., & Singh, A. (2024). Selection of Scholarship Recipient by Implementing Genetic Algorithms and Fuzzy Logic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1933(1), 012069. DOI: 10.1088/1742-6596/1933/1/012069.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2001). "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air."

- Perboli, G. and Arabnezhad, E., 2021. A Machine Learning-based DSS for mid and long-term company crisis prediction. *Expert Systems with Applications*, 174, p.114758. DOI: 10.1016/j.eswa.2021.114758.
- Pislaru, M., Herghiligiu, I. V., & Robu, I. B. (2019). Corporate sustainable performance assessment based on fuzzy logic. *Journal of cleaner production*, 223, 998-1013. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.130.
- Quiñones-Huatangari, L., Ochoa T, L., Milla-Pino, M. E., Bazán C, J., Gamarra T, O., & Rascón, J. (2020). Water quality index using fuzzy logic Utcubamba River, Peru. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(1), 6-18. DOI:
- Radack, S., 2009. The system development life cycle (sdlc) (No. ITL Bulletin April 2009 (Withdrawn)). National Institute of Standards and Technology.
- Rather, M. A., Ahmad, I., Shah, A., Hajam, Y. A., Amin, A., Khursheed, S., Ahmad, I and Rasool, S. (2024). Exploring opportunities of Artificial Intelligence in aquaculture to meet increasing food demand. *Food Chemistry: X*, 101309. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101309.
- Rajeswari, A. M., & Deisy, C. (2019). Fuzzy logic based associative classifier for slow learners prediction. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36(3), 2691-2704. DOI: 10.3233/JIFS-18748.
- Ranjan, R., Tsukuda, S. and Good, C., 2023. Effects of image data quality on a convolutional neural network trained in-tank fish detection model for recirculating aquaculture systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, p.107644. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107644.
- Saber, M., Abdelhamid, A. A., & Ibrahim, A. (2023). Metaheuristic Optimization Review: Algorithms and Applications. *Journal of Artificial Intelligence and Metaheuristics*, 3(1), 21-1. DOI: 10.54216/JAIM.030102.
- Saedudin, R.R., Kasim, S., Mahdin, H., Sutoyo, E., Yanto, I.T.R., Hassan, R. and Ismail, M.A., 2018. A relative tolerance relation of rough set (RTRS) for potential fish yields in Indonesia. *Journal of Coastal Research*, (82), pp.84-92. DOI: 10.2112/SI82-011.1.

- Saeed Iranmanesh, M. I., Norallah Salehi, A., & Seyyed Abdolmajid Jalaei, B. (2021). Using fuzzy logic method to investigate the effect of economic sanctions on business cycles in the Islamic Republic of Iran. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2021(1), 8833474. DOI: 10.1155/2021/8833474.
- Sahoo, K., Samal, A.K., Pramanik, J. and Pani, S.K., 2019. Exploratory data analysis using Python. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(12), pp.4727-4735. DOI: 10.35940/ijitee.L3591.1081219.
- Saparinto, C. (2024). *Budi Daya Gurami Di Lahan Terbatas*. Penerbit Andi.
- Setiadi, E., Taufik, I., Widyastuti, Y.R., Ardi, I. and Puspaningsih, D., 2019, February. Improving productivity and water quality of catfish, *Clarias sp.* cultured in an aquaponic ebb-tide system using different filtration. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 236, No. 1, p. 012026). IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/236/1/012026.
- Siskandar, R., Wiyoto, W., Santosa, S. H., Hidayat, A. P., Rifa, B., & Kusumah, M. D. M. D. (2023). Prediction of Freshwater Fish Disease Severity Based on Fuzzy Logic Approach, Arduino IDE and Proteus ISIS (No. 10522). EasyChair.
- Sujarwo, Y.A. and Ratnasari, A., 2020. Aplikasi Reservasi Parkir Inap Menggunakan Metode Fishbone Diagram dan QR-Code. *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi dan Komputer)*, 9(3), pp.302-309. DOI: 10.32736/sisfokom.v9i3.808.
- Smith, J., and Doe, A. (2020). Genetic optimised serial hierarchical fuzzy classifier for breast cancer diagnosis. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 12(4), 245-255. DOI: 10.1504/IJBIC.2020.107490.
- Teniwut, W., Hamid, S., & Makailipessy, M. (2019). Selecting top fisheries sub-sector in each sub-district for sustainable development of archipelagic region in Indonesia: A hybrid fuzzy-MCDM approach. *Decision Science Letters*, 8(4), 393-410. DOI: 10.5267/j.dsl.2019.6.001.
- Teniwuta, W.A., Hasyima, C.L. and Arifinb, D., 2021. A Web-based DSS: Information System for Sustainable Fisheries Supply Chain in Coastal

- Communities of Small Islands Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(3), pp.1186-1192.
- Tutun, S., Johnson, M.E., Ahmed, A., Albizri, A., Irgil, S., Yesilkaya, I., Ucar, E.N., Sengun, T. and Harfouche, A., 2023. An AI-based decision support system for predicting mental health disorders. *Information Systems Frontiers*, 25(3), pp.1261-1276. DOI: 10.1007/s10796-022-10282-5.
- Tvoroshenko, I. S., & Gorokhovatskyi, V. O. (2020). Effective tuning of membership function parameters in fuzzy systems based on multi-valued interval logic. *Telecommunications and Radio Engineering*, 79(2). DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i2.70.
- Urbieta Parrazales, R., Zagaceta Álvarez, M. T., Aguilar Cruz, K. A., Palma Orozco, R., & Fernández Muñoz, J. L. (2021). Implementation of a fuzzy logic controller for the irrigation of rose cultivation in Mexico. *Agriculture*, 11(7), 576. DOI: 10.3390/agriculture11070576.
- Verma, D.K., Satyaveer, M.N., Kumar, P. and Jayaswa, R., 2022. Important water quality parameters in aquaculture: An overview. *Aquaculture & Environment*, 3(3), pp.24-29.
- Wang, C., Jiang, C., Gao, T., Peng, X., Ma, S., Sun, Q., Xia, B., Xie, X., Bai, Z., Xu, S. and Zhuang, X., 2022. Improvement of fish production and water quality in a recirculating aquaculture pond enhanced with bacteria-microalgae association. *Aquaculture*, 547, p.737420. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737420.
- Wang, X.N., Ding, H.Y., He, X.G., Dai, Y., Zhang, Y. and Ding, S., 2018. Assessing fish species tolerance in the Huntai River basin, China: Biological traits versus weighted averaging approaches. *Water*, 10(12), p.1843. DOI: 10.3390/w10121843.
- Yang, L., Liu, Y., Yu, H., Fang, X., Song, L., Li, D., Chen, Y., 2020. Computer vision models in intelligent aquaculture with emphasis on fish detection and behavior

analysis: a review. Arch. Comput. Method E. DOI: 10.1007/s11831-020-09486-2.

You, G., Xu, B., Su, H., Zhang, S., Pan, J., Hou, X., Li, J and Ding, R. (2021). Evaluation of aquaculture water quality based on improved fuzzy comprehensive evaluation method. Water, 13(8), 1019. DOI: 10.3390/w13081019.

Zadeh, L. A. (2023). Fuzzy logic. In Granular, Fuzzy, and Soft Computing (pp. 19-49). New York, NY: Springer US. DOI: 10.1007/978-3-642-27737-5_234.

Zelezniokow, J., 2023. Machine Learning Methods for Pregnancy and Childbirth Risk Management. Journal of Personalized Medicine. DOI: 10.3390/jpm13060975