PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI ADAPTIF MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN BACK PROPAGATION UNTUK KONTROL DOSIS KIMIA PADA PENGOLAHAN AIR BERSIH

THESIS

Diajukan untuk memenuhi

Persyaratan gelar Magister Teknik

ADIMAS YUDISTIRA

(092024090176)

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA

2026

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 8 Agustus 2026

Mahasiswa,



Adimas Yudistira

NPM 092024090176

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Adimas Yudistira

NIM : 092024090176

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Judul Tesis : Pengembangan Model Prediksi Adaptif Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Back Propagation Untuk Kontrol Dosis Kimia Pada Pengolahan Air Bersih

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1	Pembimbing 2
Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., M.T.	Hamzah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK.S092020100001	NIK.S092023080003

Ketua Program Studi
Magister Teknik Elektro

Hamzah, S.T., M.T., Ph.D.
NIK.S092023080003

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Agustus 2026

FM/UGJ/L.053

Form B3 – Lembar Konsultasi Tesis	Revisi ke: 3 Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

LEMBAR KONSULTASI TESIS

Nama mahasiswa : Adimas Yudistira

NIM : 092024090176

Judul : Pengembangan Model Prediksi Adaptif Menggunakan Machine Learning Untuk Kontrol Dosis Kimia Pada Pengolahan Air Bersih

Dosen Pembimbing I : Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., M.T

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	25/10/25	Konsultasi Judul Thesis	
2	28/10/25	Konsultasi Abstrak Thesis	
3	29/10/25	Revisi Abstraksi sesuai dengan refernsi Jurnal dari Dosen Pembimbing	
4	05/06/26	Revisi masukkan dari proposal tesis	
5	20/6/26	Pembahasan BAB IV dan follow-up revisi sebelumnya	
6			
7			
8			

* Minimal 4 kali pertemuan

Depok, Juli 2024
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Sipil

Hamzah, S.T., M.T., Ph.d

FM/UGJ/L.053

Form B3 – Lembar Konsultasi Tesis	Revisi ke: 3 Tanggal revisi: 01 Oktober 2024

LEMBAR KONSULTASI TESIS

Nama mahasiswa : Adimas Yudistira

NIM : 092024090176

Judul : Pengembangan Model Prediksi Adaptif Menggunakan Machine Learning Untuk Kontrol Dosis Kimia Pada Pengolahan Air Bersih

Dosen Pembimbing I : Hamzah, S.T., M.T., Ph.d

No.	Tanggal	Uraian Kegiatan yang Dilakukan	Paraf Dosen
1	25/10/25	Konsultasi Judul Thesis	
2	28/10/25	Konsultasi Abstrak Thesis	
3	29/10/25	Revisi Abstraksi sesuai dengan refernsi Jurnal dari Dosen Pembimbing	
4	05/06/26	Revisi masukkan dari proposal tesis	
5	20/6/26	Pembahasan BAB IV dan follow-up revisi sebelumnya	
6			
7			
8			

* Minimal 4 kali pertemuan

Depok, Juli 2024
Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Sipil

Hamzah, S.T., M.T., Ph.d

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh:

Nama	**: Adimas Yudistira**
NIM	**: 092024090176**
Program Studi	**: Magister Teknik Elektro**
Judul Tesis	**: Pengembangan Model Health Index Transformator Medium Voltage Berbers Dynamic Non-Linear Penalty System dan Multi-Tier Triggering Protocol untuk Mitigasi Risiko ISO 55001**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji : Dr. Eng. Yanuar Zulardiansyah Arief, S.T., M.T. ( )

Penguji : Dr. Herwanto, S.Kom., M.Si. ( )

Penguji : Prof. Dr. I Nyoman Jujur, M.Eng. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Agustus 2026

FMJGU/L.064

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SIDANG SKRIPSI

Nama Mahasiswa : ADIMAS YUDISTIRA

NIM : 092024090176

Prodi : S2 - Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Pengembangan Model Prediksi Adaptif Menggunakan Machine Learning Untuk Kontrol Dosis Kimia Pada Pengolahan Air Bersih**

Dosen Penguji I : Dr. Eng Yanuar Zulardiansyah Arief, S.T., M.T.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1.	Mohon diperjelas prosentase dataset untuk training dan testing pada Bab 4	sudah di tambahkan pada sub-bab 3.7.2 poin 1 dan 2, halaman 27	yza (6-8-2026)
2.	Mohon diperjelas lagi validasi hasil simulasi yg diperoleh dengan kondisi aktual di lapang	sudah di tambahkan pada sub-bab 4.4 dan 4.4.1 tabel 4.3	yza (6-8-2026)
3.	Mohon berikan justifikasi pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 pada Bab 2	sudah ditambahkan justifikasi berupa referensi	yza (6-8-2026)
4.	Mohon cek kembali penulisan nama gambar (gambar caption) apakah di atas atau di bawah, demikian juga dengan terminologi yang digunakan dengan benar seperti "deforma atau performa", "mestrik' atau "matrik", dll.	sudah di perbaiki sesuai ejaan	yza (6-8-2026)
5.	Mohon tambahkan lagi referensi yang berkaitan dengan topik riset yang dilakukan	sudah ditambahkan referensi	yza (6-8-2026)

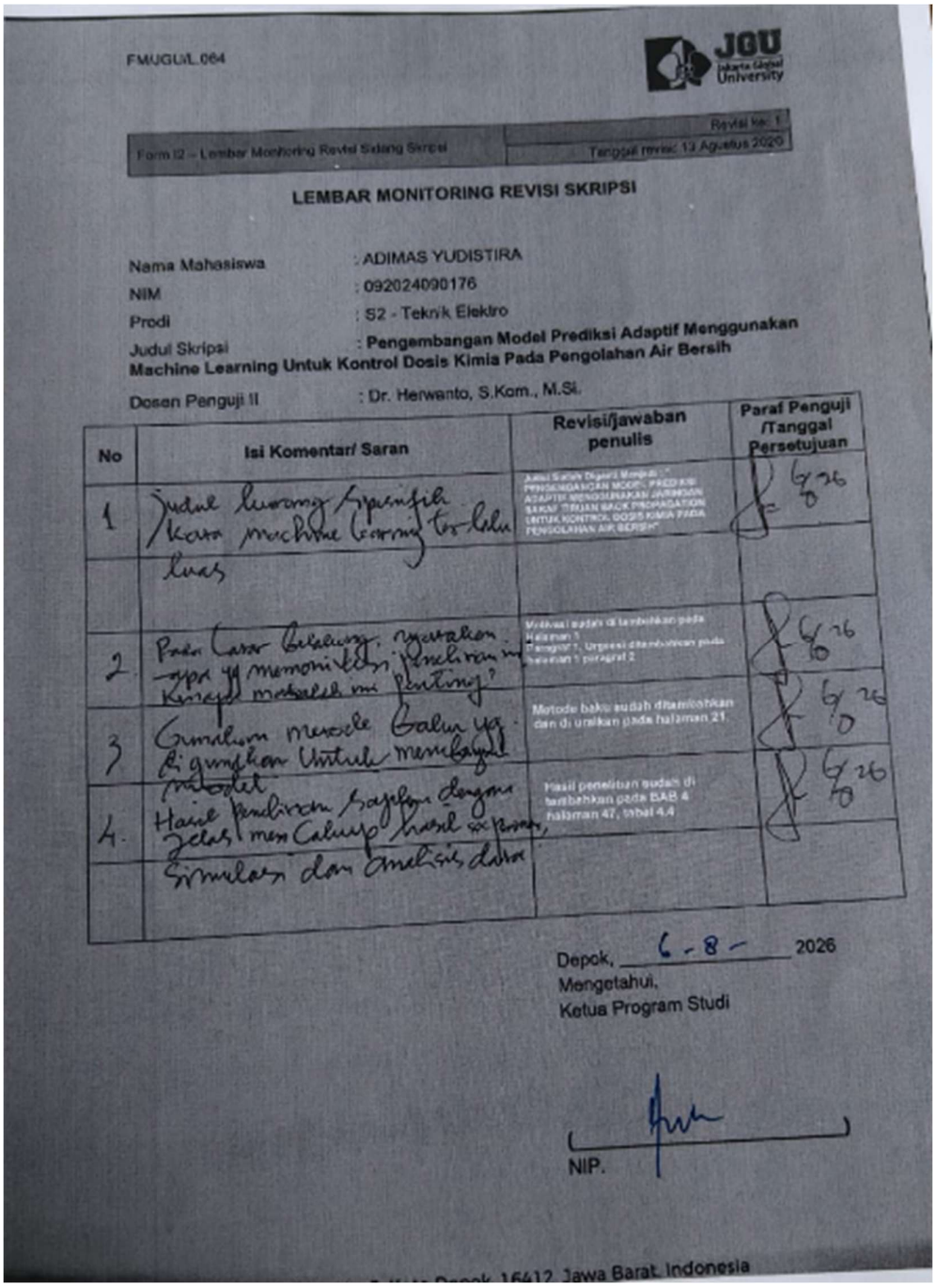
Depok, 09/08/2026 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

( )

NIP



FMUGU/L.064

JGU Jakarta Global University

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama Mahasiswa : ADIMAS YUDISTIRA

NIM : 092024090176

Prodi : S2 - Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Pengembangan Model Prediksi Adaptif Menggunakan Machine Learning Untuk Kontrol Dosis Kimia Pada Pengolahan Air Bersih**

Dosen Penguji II : Dr. Herwanto, S.Kom., M.Si.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1	Judul kurang Sipesifik kata machine learning terlalu luas	Judul Sudah Digant Menjadi : "PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI ADAPTIF MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN BACK PROPAGATION UNTUK KONTROL DOSIS KIMIA PADA PENGOLAHAN AIR BERSIH"	6/8/26
2.	Pada Latar Belakang, ngawakan apa yg memoriksi penelitian ini kenapa masalah ini penting?	Motivasi sudah di tambahkan pada Halaman 1 Paragraf 1, Urgensi ditambahkan pada halaman 1 paragraf 2	6/8/26
3	Gunakan metode baku yg digunakan untuk membangun model	Metode baku sudah ditambahkan dan di uraikan pada halaman 21.	6/8/26
4.	Hasil penelitian sajikan dengan jelas mencakup hasil sx pemas, simulasi dan analisis data	Hasil penelitian sudah di tambahkan pada BAB 4 halaman 47, tabel 4.4	6/8/26

Depok, 6 - 8 - 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

NIP.

Kota Depok 16412, Jawa Barat, Indonesia

FM/JGU/L.064

Form I2 – Lembar Monitoring Revisi Sidang Skripsi	Revisi ke: 1 Tanggal revisi: 13 Agustus 2020

LEMBAR MONITORING REVISI SKRIPSI

Nama Mahasiswa : ADIMAS YUDISTIRA

NIM : 092024090176

Prodi : S2 - Teknik Elektro

Judul Skripsi : **Pengembangan Model Prediksi Adaptif Menggunakan Machine Learning Untuk Kontrol Dosis Kimia Pada Pengolahan Air Bersih**

Dosen Penguji III : Dr. Ir. I Nyoman Jujur, M.Eng.

No	Isi Komentar/ Saran	Revisi/jawaban penulis	Paraf Penguji /Tanggal Persetujuan
1	Draft Tesis perlu diperbaiki format belum teratur		
2	Mode 2 belum dibahas		
3	Capaian ditambahkan Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan ref		
4	Analisis secara akademik diperdalam + hub penelitian		
5	Abstrak perlu ditambahkan data hasil secara kuantitatif		

Depok, 09/08/2026 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi

( )

NIP.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis berjudul "Pengembangan Model Prediksi Adaptif Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Back Propagation untuk Kontrol Dosis Kimia pada Pengolahan Air Bersih". Penelitian ini merupakan syarat kelulusan gelar Magister Teknik (M.T.) di Jakarta Global University.

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., M.T. selaku Pembimbing 1, atas bimbingan teknis, kesabaran, dan arahan akademis yang sangat mendalam selama proses penelitian ini.
2. Bapak Hamzah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Pembimbing 2, atas masukan strategis serta bantuan dalam penguatan metodologi penelitian berbasis machine learning.
3. Bapak Dr. Herwanto, S.Kom., M.Si. selaku Dosen Penguji, atas kritik konstruktifnya terutama dalam penyajian analisis data kuantitatif dan simulasi model pada revisi ini.
4. Manajemen IPA Buaran 3 yang telah menyediakan data operasional SCADA sebagai basis pengembangan model prediksi dosis PAC ini.

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa model ANN dengan arsitektur 5-64-32-1 mampu menghasilkan efisiensi koagulan sebesar 12,4% dan mempercepat respon operasional secara seketika. Semoga karya ini bermanfaat bagi pengembangan teknologi pengolahan air bersih.

Depok, Agustus 2026

Adimas Yudistira

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Jakarta Global University, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Adimas Yudistira
NPM	: 092024090176
Program Studi	: Teknik Elektro
Jenis Karya Ilmiah	: Tesis

Demi mengembangkan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Jakarta Global University Hak Bebas Royalti Non-ekslusif (None-exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengembangan Model Prediksi Adaptif Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Back Propagation Untuk Kontrol Dosis Kimia Pada Pengolahan Air Bersih

Beserta perangkat yang ada. Dengan hak bebas royalti/non-ekslusif ini Jakarta Global University berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 08 Agustus 2026

Yang menyatakan



Adimas Yudistira

ABSTRAK

Sistem pengolahan air bersih menghadapi tantangan operasional yang kompleks akibat fluktuasi karakteristik air baku yang bersifat dinamis, non-linier, dan sering kali dipengaruhi oleh faktor eksternal yang tidak menentu. Ketidaksesuaian dosis koagulan akibat penggunaan metode manual berbasis jar-test yang lambat sering kali menyebabkan inefisiensi bahan kimia sampai dengan penurunan kualitas air output. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model Prediksi adaptif berbasis machine learning untuk meng-optimalisasi dosis Poly Aluminium Chloride (PAC) secara presisi pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) WTP Buaran 3. Metode Artificial Neural Network (ANN) dengan arsitektur backpropagation 5-64-32-1 diterapkan untuk memetakan hubungan non-linier yang kompleks antara parameter kualitas air baku terhadap kebutuhan dosis kimia optimal. Model dilatih menggunakan data operasional historis untuk memastikan kemampuan generalisasi yang tinggi. Selain itu, sistem ini dirancang dengan pendekatan hybrid sebagai mekanisme pengaman (fail-safe) untuk menjaga stabilitas kontrol saat menghadapi data anomali.

Hasil penelitian secara kuantitatif menunjukkan bahwa model Prediksi adaptif ini memiliki performa statistik yang sangat baik dengan nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar 0,2648 dan Root Mean Squared Error (RMSE) sebesar 0,5146. Model mencapai tingkat akurasi operasional yang signifikan dengan nilai Mean Absolute Error (MAE) sebesar 0,0515, yang berarti akurasi prediksi berada sepuluh kali lipat di bawah ambang batas toleransi deviasi operasional sebesar 0,5 NTU. Implementasi model terbukti mampu memberikan respons kontrol yang sangat cepat dengan memangkas waktu pengambilan keputusan dari 15–30 menit menjadi kurang dari 1 detik (seketika). Selain itu, penggunaan sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi ekonomi melalui penghematan konsumsi bahan kimia PAC sebesar 12,4% dibandingkan metode konvensional. Penelitian ini memberikan kontribusi nyata bagi digitalisasi operasional WTP melalui sistem kontrol cerdas yang stabil, adaptif, dan siap diintegrasikan pada sistem SCADA skala industri.

Kata Kunci: *Machine Learning*, Algoritma *Backpropagation*, Pendosisan Adaptif, Instalasi Pengolahan Air, Optimasi Koagulan.

ABSTRACT

Clean water treatment plants face significant operational challenges due to highly dynamic and non-linear fluctuations in raw water quality, often compounded by unpredictable external factors. Inconsistent coagulant dosing resulting from traditional, slow-paced, manual jar-test methods frequently leads to chemical inefficiencies and compromised effluent water quality. This research aims to develop an adaptive prediction model based on machine learning to precisely optimize Poly Aluminum Chloride (PAC) dosing at the Buaran 3 Water Treatment Plant (WTP). An Artificial Neural Network (ANN) algorithm with a 5-64-32-1 backpropagation architecture was employed to map the complex non-linear relationships between raw water quality parameters—including flow rate, input turbidity, and pH levels—and the required optimal chemical dosage. The model was trained using historical operational data to ensure robust generalization capabilities, utilizing a hybrid fail-safe approach to maintain control stability.

Quantitative research results demonstrate that this adaptive prediction model achieves excellent statistical performance with a Mean Squared Error (MSE) of 0.2648 and a Root Mean Squared Error (RMSE) of 0.5146. The model reached a significant operational accuracy with a Mean Absolute Error (MAE) of 0.0515, ensuring that prediction accuracy remains ten times lower than the standard operational deviation tolerance of 0.5 NTU. Implementation of this model proved capable of providing instantaneous control responses, reducing decision-making time from 15–30 minutes to less than 1 second. Furthermore, the system successfully enhanced economic efficiency by reducing PAC chemical consumption by 12.4% compared to conventional methods. This research provides a tangible contribution to the digital transformation of WTP operations through intelligent, stable, and adaptive control systems ready for industrial-scale SCADA integration.

Keywords: Adaptive Dosing, Poly Aluminum Chloride, Artificial Neural Network, Back Propagation, Water Treatment Plant.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS ..... **Error! Bookmark not defined.**

KATA PENGANTAR x

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI AKADEMIS **Error! Bookmark not defined.**

ABSTRAK xii

DAFTAR ISI xiv

DAFTAR TABEL xvii

DAFTAR GAMBAR xviii

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 LATAR BELAKANG 1

1.2 RUMUSAN MASALAH 4

1.3 TUJUAN PENELITIAN 4

1.4 MANFAAT PENELITIAN 5

1.5 BATASAN PENELITIAN 6

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 8

2.1 INSTALASI PENGOLAHAN AIR 8

2.2 SISTEM KONTROL LOOP TERBUKA 9

2.3 JARINGAN SARAF TIRUAN DENGAN ALGORITMA *BACK PROPAGATION* 10

2.3.1 PERBANDINGAN ALGORITMA BACK PROPAGATION DENGAN METODE MACHINE LEARNING LAIN 11

2.4 PENERAPAN *MACHINE LEARNING* PADA SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN (DSS) PENGENDALIAN PROSES 14

2.4.1 PENELITIAN TERDAHULU 15

2.5 RESEARCH GAP 17

BAB 3 METODE PENELITIAN 19

3.1 JENIS DAN PENDEKATAN PENELITIAN 19
3.2 FOKUS PENELITIAN 20
3.3 DEFINISI DAN KONSEP PENELITIAN 20
3.3.1 DEFINISI VARIABEL OPERASIONAL 20
3.3.2 DEFINISI KONSEP 20
3.3.3 PERALATAN DAN DATA 22
3.4 ALUR PENELITIAN..... 22
3.5 LOKASI DAN OBYEK PENELITIAN 24
3.6 TEKNIK PENGUMPULAN DATA..... 24
3.7 ANALISA DATA 26
3.7.1 PRA-PEMROSESAN DATA 27
3.7.2 PEMBAGIAN DATA PELATIHAN DAN PENGUJIAN..... 28
3.7.3 PERANCANGAN DAN PELATIHAN MODEL JARINGAN SARAF TIRUAN..... 28
3.7.4 IMPLEMENTASI ALGORITMA PELATIHAN MODEL 30
3.8 PEMBUATAN PROGRAM PREDIKSI PADA *NODE – RED* 33
3.8.1 Arsitektur Mode 1: Prediksi *Turbidity* (Kekeruhan)..... 34
3.8.2 Arsitektur Mode 2: Pencarian Dosis PAC Optimal 35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN..... 40
4.1 AKUISISI DATA DAN PREPROCESSING DATA..... 40
4.2 ARSITEK MODEL ARTIFICIAL NEURAL NETWORK 41
4.3 ANALISIS PEFORMA MODEL 42
4.4 HASIL SIMULASI: IMPLEMENTASI PADA NODE-RED..... 44
4.4.1 Evaluasi Hasil dari Mode 1 (Prediksi Kekeruhan)..... 45
4.4.2 Evaluasi Hasil dari Mode 2..... 46

4.5 PERBANDINGAN PERFORMA MODEL DENGAN PENELITIAN TERDAHULU 48
4.5.1 PERFORMA STATISTIK DAN AKURASI (MAE) 48
4.5.2 EFISIENSI BAHAN KIMIA PAC 48
4.5.3 KECEPATAN RESPONS PENGAMBILAN KEPUTUSAN 49
4.5.4 INTEGRASI DAN SKALABILITAS OPERASIONAL 49
BAB 5 PENUTUP 51
5.1 KESIMPULAN 51
5.2 SARAN 52
Referensi 53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Machine Learning Berdasarkan Pemodelan dan Kesesuaian 13
Tabel 2.2 Perbandingan Kesesuaian Metode Machine Learning 13
Tabel 2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu 16
Tabel 2.4 *Matrix Pemetaan Celah Penelitian (Research Gap)* 18
Tabel 3.1 Variabel SCADA yang digunakan 26
Tabel 3.2 Variabel Jar-test yang digunakan 26
Tabel 4.1 Parameter Normalisasi Input 41
Tabel 4.2 Analisa peforma model 43
Tabel 4.3 Perbandingan Actual dan Prediksi 45
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Penelitian lampau 50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Digram Proses IPA Buaran 3 9
Gambar 2.2 Struktur Jaringan ANN..... 10
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian..... 23
Gambar 3.2 Citra Satelit Lokasi IPA Buaran 3..... 24
Gambar 3.3 Gambar Flow ANN Training Node..... 28
Gambar 3.4 Flow Chart Data Learning..... 31
Gambar 3.5 Program flow ANN Node-RED 34
Gambar 3.6 Source Code Training ANN Mode 1..... 37
Gambar 3.7 Source Code Training ANN Mode 2..... 39
Gambar 4.1 Diagram Arsitektur JST 5-64-32-1 41
Gambar 4.2 Dashbord ANN Mode 1 (Prediksi)..... 46
Gambar 4.3 Dashboard Mode 2 47

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Air bersih merupakan komponen esensial bagi kesehatan dan produktivitas masyarakat, di mana kualitasnya sangat bergantung pada keandalan sistem pengolahan di Instalasi Pengolahan Air (IPA). Motivasi utama penelitian ini berawal dari fakta bahwa pengendalian dosis koagulan (*Poly Aluminium Chloride* / PAC) di lapangan mayoritas masih menggunakan metode manual berbasis *jar-test* yang bersifat reaktif dan memiliki waktu respons lambat (15–30 menit). Hal ini menyebabkan sering terjadinya ketidaksesuaian dosis—baik *over-dosing* yang memboroskan bahan kimia, maupun *under-dosing* yang menurunkan kualitas air *output*. Instalasi Pengolahan Air (IPA) berfungsi sebagai sistem rekayasa proses yang mengolah air baku menjadi air siap konsumsi melalui rangkaian unit proses yang saling terintegrasi, sehingga kinerja IPA menjadi faktor penentu dalam keandalan sistem penyediaan air bersih (Boretti & Rosa, 2019)

Urgensi penelitian ini terletak pada karakteristik air baku yang bersifat sangat dinamis, non-linier, dan sulit diprediksi secara manual, terutama saat terjadi fluktuasi cuaca ekstrem. Meskipun sistem kontrol *closed-loop* tersedia, penerapannya pada WTP menghadapi kendala kritis berupa jeda waktu (*time-lag*) pengukuran yang panjang, sehingga sinyal umpan balik sering kali tidak lagi relevan dengan kondisi air aktual saat itu. Tanpa adanya sistem kontrol cerdas yang mampu memberikan rekomendasi dosis secara instan (< 1 detik), risiko kegagalan proses dalam memenuhi standar baku mutu kesehatan menjadi sangat tinggi. Oleh karena itu, pengembangan model prediksi adaptif berbasis Jaringan Saraf Tiruan menjadi solusi krusial untuk menjamin stabilitas kualitas air sekaligus meningkatkan efisiensi operasional secara signifikan.

Proses pengolahan air pada IPA umumnya melibatkan tahapan koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Di antara tahapan tersebut, proses koagulasi merupakan tahap awal yang sangat menentukan keberhasilan proses-proses selanjutnya. Pembubuhan koagulan, seperti *Poly Aluminium Chloride* (PAC), bertujuan untuk menstabilkan partikel koloid dan meningkatkan efisiensi pemisahan padatan

tersuspensi. Ke tidak-tepatan dosis PAC dapat menyebabkan penurunan kualitas air hasil olahan, peningkatan residu aluminium, serta pemborosan bahan kimia dan energi operasional (Zhen, Nan, & Hou, 2023)

Dalam praktik operasional, pengendalian dosis PAC di banyak instalasi pengolahan air masih dilakukan menggunakan pendekatan kontrol loop terbuka (*open-loop Control*), di mana penentuan dosis didasarkan pada pengalaman operator atau nilai referensi historis. Pendekatan ini relatif sederhana dan mudah diimplementasikan, namun memiliki keterbatasan dalam menghadapi perubahan karakteristik air baku yang bersifat dinamis, seperti fluktuasi kekeruhan, debit aliran, dan kualitas musiman. (Narges, 2021)

Penerapan sistem kontrol lup tertutup (*closed-loop Control*) pada proses pembubuhan PAC secara teoritis dapat meningkatkan akurasi pengendalian. Namun, dalam konteks sistem pengolahan air, pendekatan ini menghadapi kendala teknis berupa jeda waktu pengukuran parameter kualitas air hasil olahan yang digunakan sebagai sinyal umpan balik. Parameter seperti kekeruhan air setelah proses sedimentasi dan filtrasi memiliki waktu respon yang relatif panjang terhadap perubahan dosis PAC. Akibatnya, koreksi dosis yang dihasilkan oleh sistem kontrol lup tertutup berpotensi tidak merepresentasikan kondisi proses secara aktual dan dapat menimbulkan bias pada sinyal umpan balik, sehingga menurunkan stabilitas dan efektivitas sistem pengendalian (Jeng, Wang, & Nguyen, 2021)

Seiring dengan perkembangan teknologi komputasi dan ketersediaan data operasional, metode pembelajaran mesin (*machine learning*) semakin banyak diterapkan untuk pemodelan dan analisis sistem proses yang kompleks dan non-linier. Jaringan saraf tiruan dengan algoritma pembelajaran *back propagation* telah terbukti mampu mempelajari hubungan non-linier antara variabel *input* dan *output* berdasarkan data historis, tanpa memerlukan model matematis eksplisit. Dalam konteks pengolahan air, metode ini telah digunakan untuk memprediksi kualitas air dan mengoptimalkan dosis koagulan secara akurat pada berbagai kondisi operasi (Zhang K. e., 2013)

Berdasarkan permasalahan tersebut, Digitalisasi melalui sistem kontrol cerdas diperlukan untuk menjamin kepatuhan kualitas air secara real-time dan efisiensi ekonomi melalui penghematan bahan kimia. Pendekatan pendosisan adaptif PAC berbasis jaringan saraf tiruan *back propagation* dalam kerangka kontrol loop terbuka menjadi alternatif yang potensial. Pendekatan ini memanfaatkan data historis dan parameter operasional untuk menghasilkan rekomendasi dosis PAC secara *prediktif*, tanpa bergantung pada sinyal umpan balik kualitas air hasil yang memiliki keterlambatan waktu. Dengan demikian, metode ini diharapkan mampu meningkatkan akurasi pendosisan PAC dan mendukung pengambilan keputusan operator secara lebih objektif dan konsisten. Oleh karena itu, diperlukan kajian akademik untuk menganalisis efektivitas penerapan metode *back propagation* pada sistem pendosisan PAC di instalasi pengolahan air bersih. (Kim, 2024)

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan melatih arsitektur Artificial Neural Network (ANN) dengan algoritma *Backpropagation* agar mampu memprediksi dosis optimal Polyaluminium Chloride (PAC) secara presisi dalam merespons dinamika fluktuasi kualitas air baku?

2. Bagaimana mengintegrasikan model Prediksi *prediktif* tersebut ke dalam rancang bangun Sistem Pendukung Keputusan (DSS) berkerangka Open-Loop yang adaptif ?

3. Sejauh mana tingkat akurasi algoritma dan efisiensi operasional pendosisan berbasis *Machine Learning* ini jika dibandingkan dengan metode penentuan dosis konvensional pada Water Treatment Plant?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan model Prediksi dosis PAC menggunakan ANN *Backpropagation* untuk memetakan dinamika fluktuasi kualitas air baku secara non-linear. Melalui penerapan algoritma *Backpropagation*, jaringan saraf tiruan dilatih secara iteratif menggunakan data historis dan hasil Jar Test guna mengoptimalkan bobot sinaptik jaringan. Untuk meminimalkan fungsi kerugian (loss function) agar model mampu menganalisis variabel parameter input seperti laju aliran, tingkat kekeruhan awal, dan pH untuk menghasilkan Prediksi dosis Polyaluminium Chloride (PAC) yang akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi air.

2. Membangun sistem pendukung keputusan (DSS) yang adaptif dalam kerangka Open-Loop berbasis antarmuka interaktif. Dengan mengadopsi kerangka kerja Open-Loop (Human-in-the-Loop), model ANN diposisikan sebagai penasihat

cerdas yang memberikan rekomendasi *prediktif* secara real-time, alih-alih mengeksekusi kendali otonom secara langsung. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap rekomendasi dosis dari sistem komputasi tetap divalidasi oleh keahlian dan intuisi supervisor, sehingga tercipta sinergi yang aman dan andal antara kecerdasan buatan dengan kendali operasional manusia.

3. Evaluasi kinerja pendosisan berbasis *Machine Learning* ANN-*Backpropagation* Tahap akhir difokuskan pada validasi komprehensif terhadap keandalan model yang diimplementasikan pada Water Treatment Plant. Evaluasi ini mencakup pengukuran akurasi algoritma melalui metrik statistik standar seperti nilai kerugian Prediksi (*Error*), serta analisis dampak langsungnya terhadap stabilitas proses treatment. Tolok ukur keberhasilan juga dinilai dari kemampuan sistem dalam mempertahankan target kekeruhan air (Target *Turbidity*) sesuai standar baku mutu, menekan *RED*undansi injeksi bahan kimia pembantu, dan mempercepat waktu respons adaptasi instalasi saat menghadapi fluktuasi kualitas air baku yang ekstrem.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Memberikan sumbangsih literatur akademis dan bukti empiris terkait keandalan algoritma Artificial Neural Network (ANN) *Backpropagation* dalam memecahkan masalah pemetaan non-linear pada pengolahan air, sekaligus menjadi rujukan bagi perancangan Sistem Pendukung Keputusan (DSS) berkerangka Open-Loop yang menjembatani kecerdasan buatan dengan keahlian operasional manusia.

2. Meningkatkan efisiensi operasional dan penghematan biaya di lantai produksi melalui rekomendasi penentuan dosis Polyaluminium Chloride (PAC) yang akurat, sehingga secara efektif dapat mencegah terjadinya pemborosan bahan kimia (overdosing) maupun kegagalan proses akibat kekurangan dosis (underdosing).

3. Menstandarisasi proses pengambilan keputusan berbasis data bagi para operator dengan meminimalkan bias dari metode coba-coba manual (trial-and-*Error*), sehingga Water Treatment Plant dapat merespons fluktuasi kualitas air baku dengan lebih cepat dan secara konsisten mempertahankan standar target kekeruhan air yang ditetapkan oleh perusahaan.

1.5 BATASAN PENELITIAN

Mengingat kompleksitas sistem pengolahan air bersih serta keterbatasan ruang lingkup penelitian pada jenjang magister, penelitian ini perlu dibatasi agar pembahasan tetap terfokus, terukur, dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Batasan penelitian juga diperlukan untuk menghindari perluasan kajian yang tidak relevan dengan permasalahan utama, serta untuk memastikan bahwa hasil penelitian dapat dianalisis secara mendalam berdasarkan data dan metode yang digunakan. Oleh karena itu, ruang lingkup penelitian ini ditetapkan dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Pemodelan *prediktif* yang dikembangkan dibatasi hanya menggunakan algoritma Artificial Neural Network (ANN) *Backpropagation*, dengan parameter masukan (input) yang secara spesifik difokuskan pada dinamika laju aliran air (*Flow* In), tingkat kekeruhan awal (*Turbidity* In), serta pH air baku, sedangkan parameter keluaran (*output*) dibatasi pada penentuan rekomendasi dosis Polyaluminium Chloride (PAC) dan Prediksi tingkat kekeruhan air hasil olahan.

2. Rancang bangun Sistem Pendukung Keputusan (DSS) dibatasi pada penerapan kerangka kerja Open-Loop, yang berarti sistem ini hanya berfungsi sebagai antarmuka penasihat cerdas (*intelligent advisor*) dalam memberikan rekomendasi dosis secara visual kepada operator, dan tidak melakukan intervensi langsung maupun terhubung secara otonom (closed-loop) dengan instrumen fisik dosing pump di lapangan tanpa adanya validasi manual.

3. Evaluasi dan pengujian kinerja komputasi dibatasi pada penggunaan dataset historis serta hasil uji Jar Test dari fasilitas operasional Water Treatment Plant terkait, di mana tingkat akurasi dan keberhasilan algoritma hanya diukur menggunakan metrik evaluasi kesalahan Prediksi standar (seperti nilai deviasi *Error*) serta persentase keandalan model dalam mencapai target batas baku mutu kekeruhan air produksi.