

BENCHMARKING ARSITEKTUR HYBRID DOUBLE-STAGE (ARIMAX-FNN DAN SVR-FNN) UNTUK PREDIKSI PERTUMBUHAN IKAN NILA PADA LINGKUNGAN AKUAKULTUR TERKONDISI BERBASIS IOT



LAPORAN TUGAS AKHIR

**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada Jurusan
Teknik Elektro Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik
Negeri Sriwijaya**

Oleh :

AGUNG TANTOWI JUNIOR

062240342197

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

PALEMBANG

2026

BENCHMARKING ARSITEKTUR HYBRID DOUBLE-STAGE (ARIMAX-FNN DAN SVR-FNN) UNTUK PREDIKSI PERTUMBUHAN IKAN NILA PADA LINGKUNGAN AKUAKULTUR TERKONDISI BERBASIS IOT



LAPORAN TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya

Oleh :

Nama : Agung Tantowi Junior
Dosen Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. Tresna Dewi, S. T., M. Eng
Dosen Pembimbing II : Ir. Pola Risma, M.T.

POLITEKNIK NEGERI SRWIJAYA

PALEMBANG

2026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan :

Nama	: Agung Tantowi Junior
NIM	: 062240342197
Jenis Kelamin	: Laki Laki
Tempat, Tanggal Lahir	: Palembang, 23 Juni 2003
Alamat	: Jl Pasundan Lr Citra No 25A
Program Studi	: Sarjana Terapan Teknik Elektro
Jurusan	: Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir	: <i>Benchmarking Arsitektur Hybrid Double-Stage (ARIMAX-FNN dan SVR-FNN) Untuk Prediksi Pertumbuhan Ikan Nila Pada Lingkungan Akuakultur Terkondisi Berbasis IoT</i>

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, bebas dari tindakan plagiasi serta sumber referensi baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.
2. Dapat menyelesaikan segala urusan terkait pengumpulan revisi Laporan Tugas Akhir yang sudah disetujui oleh dewan penguji paling lama 1 bulan setelah Sidang Tugas Akhir.
3. Dapat menyelesaikan segala urusan peminjaman/penggantian alat/buku dan lainnya paling lama 1 bulan setelah Sidang Tugas Akhir.

Apabila di kemudian hari diketahui ada pernyataan yang terbukti tidak benar dan tidak dapat dipenuhi, maka saya siap bertanggung jawab dan menerima sanksi untuk tidak diikutsertakan dalam prosesi wisuda serta dimasukkan dalam daftar hitam oleh Jurusan Teknik Elektro, yang berdampak pada tertundanya pengambilan Ijazah & Transkrip. Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan dalam keadaan sadar tanpa paksaan.



Palembang, *Senin 27 Juli* 2026
Yang Menyatakan,



LEMBAR PENGESAHAN

BENCHMARKING ARSITEKTUR HYBRID DOUBLE-STAGE (ARIMAX-FNN DAN SVR-FNN) UNTUK PREDIKSI PERTUMBUHAN IKAN NILA PADA LINGKUNGAN AKUAKULTUR TERKONDISI BERBASIS IOT



LAPORAN TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya

Oleh :

AGUNG TANTOWI JUNIOR

062240342197

Menyetujui,

Palembang, 27 Juli 2026

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Eng. Ir. Tresna Dewi, S. T., M. Eng
NIP. 197711252000032001

Ir. Pola Risma, M.T.
NIP. 196303281990032001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro



Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom. IPM
NIP. 197907222008011007

Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T.
NIP. 198910022019032013

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

-(QS. Al-Baqarah: 286)-

“Ilmu ada tiga tahapan. Jika seseorang memasuki tahapan pertama, dia akan sombong. Jika dia memasuki tahapan kedua, maka dia akan rendah hati. Jika dia memasuki tahapan ketiga, maka dia akan merasa bahwa dirinya tidak ada apa-apanya”

-(Umar bin Khattab)-

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu dan Ayah yang telah menjadi sumber kekuatan, semangat, dan doa di setiap langkah perjuangan. Terima kasih atas cinta yang tak pernah putus, dukungan yang tak tergantikan, serta keyakinan yang tak pernah luntur terhadap setiap impian saya. Tanpa restu dan doa kalian, perjalanan ini tak akan pernah sampai sejauh ini.
2. Ibu Prof. Dr. Eng. Ir. Tresna Dewi, S.T., M.Eng. dan Ibu Ir. Pola Risma, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan yang sangat berharga dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas waktu, kesabaran, dan dedikasi yang telah diberikan selama proses.
3. Diri saya sendiri, yang telah memilih untuk terus melangkah meskipun dihadapkan pada berbagai tantangan, keraguan, dan kelelahan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih karena telah bertahan, terus belajar, bangkit dari setiap kegagalan, dan tidak menyerah hingga mampu menyelesaikan perjalanan ini. Semoga pencapaian ini menjadi awal dari langkah-langkah besar berikutnya.
4. Teman-teman seperjuangan, yang telah menjadi bagian dari perjalanan ini melalui kebersamaan, dukungan, motivasi, serta berbagai pengalaman yang telah dilalui bersama. Terima kasih atas setiap bantuan, diskusi, canda tawa, dan semangat yang diberikan, sehingga proses penyusunan Tugas Akhir ini terasa lebih bermakna dan penuh kenangan.

ABSTRAK

BENCHMARKING ARSITEKTUR HYBRID DOUBLE-STAGE (ARIMAX-FNN DAN SVR-FNN) UNTUK PREDIKSI PERTUMBUHAN IKAN NILA PADA LINGKUNGAN AKUAKULTUR TERKONDISI BERBASIS IOT (2026: xiv + 136 Halaman + 20 Gambar + 16 Tabel + 68 Daftar Pustaka + Lampiran)

AGUNG TANTOWI JUNIOR

062240342197

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Sistem budidaya ikan nila memerlukan pemantauan kualitas air secara berkelanjutan untuk menjaga stabilitas lingkungan dan mendukung pertumbuhan optimal. Penelitian ini merancang sistem *smart aquaculture* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau suhu, pH, dan *dissolved oxygen* (DO), serta membangun model prediksi pertumbuhan ikan nila menggunakan arsitektur *hybrid double-stage*. Data yang diperoleh diproses melalui sinkronisasi temporal, interpolasi linier, deteksi outlier dengan *Interquartile Range* (IQR), dan normalisasi *Min-Max Scaler*. Pemodelan dilakukan dengan membandingkan ARIMAX dan SVR sebagai *baseline*, kemudian dikombinasikan dengan *Feedforward Neural Network* (FNN) sebagai *residual error corrector*. Evaluasi menggunakan RMSE, MAE, MAPE, dan R^2 menunjukkan bahwa ARIMAX menghasilkan RMSE 0.3841, MAE 0.3429, MAPE 1.116%, dan R^2 0.9721, sedangkan ARIMAX-FNN meningkatkan performa menjadi RMSE 0.2737, MAE 0.2393, MAPE 0.776%, dan R^2 0.9858. Sebaliknya, SVR-FNN mengalami penurunan performa. Berdasarkan *benchmarking* dan *Error Reduction Rate* (ERR), ARIMAX-FNN menjadi model terbaik untuk prediksi pertumbuhan ikan nila dalam sistem akuakultur cerdas.

Kata kunci: *Smart aquaculture, Internet of Things (IoT), ARIMAX, Support Vector Regression (SVR), Feedforward Neural Network (FNN), Double-stage hybrid, Prediksi pertumbuhan ikan nila.*

ABSTRACT

BENCHMARKING OF DOUBLE-STAGE HYBRID ARCHITECTURES (ARIMAX-FNN AND SVR-FNN) FOR PREDICTING TILAPIA GROWTH IN A CONDITIONED IOT-BASED AQUACULTURE ENVIRONMENT (2026: xiv + 136 Pages + 20 Figures + 16 Tables + 68 References + Appendices)

AGUNG TANTOWI JUNIOR

062240342197

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

APPLIED BACHELOR PROGRAM IN ELECTRICAL ENGINEERING

SRIWIJAYA STATE POLYTECHNIC

Tilapia aquaculture systems require continuous monitoring of water quality to maintain environmental stability and support optimal growth. This study designs a smart aquaculture system based on the Internet of Things (IoT) to monitor temperature, pH, and dissolved oxygen (DO), and develops a tilapia growth prediction model using a double-stage hybrid architecture. The collected data are processed through temporal synchronization, linear interpolation, outlier detection using the Interquartile Range (IQR), and Min-Max normalization. Modeling is conducted by comparing ARIMAX and SVR as baseline models, which are then combined with a Feedforward Neural Network (FNN) as a residual error corrector. Evaluation using RMSE, MAE, MAPE, and R^2 shows that ARIMAX achieves RMSE of 0.3841, MAE of 0.3429, MAPE of 1.116%, and R^2 of 0.9721, while ARIMAX-FNN improves performance to RMSE of 0.2737, MAE of 0.2393, MAPE of 0.776%, and R^2 of 0.9858. In contrast, SVR-FNN experiences a decline in performance. Based on benchmarking results and Error Reduction Rate (ERR) analysis, ARIMAX-FNN is identified as the best model for predicting tilapia growth in a smart aquaculture system.

Keywords: *Smart aquaculture, Internet of Things (IoT), ARIMAX, Support Vector Regression (SVR), Feedforward Neural Network (FNN), Double-stage hybrid, Tilapia growth prediction.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “*Benchmarking Arsitektur Hybrid Double-Stage (ARIMAX-FNN dan SVR-FNN) untuk Prediksi Pertumbuhan Ikan Nila pada Lingkungan Akuakultur Terkondisi Berbasis IoT*”. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu kurikulum di Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Kelancaran penulisan laporan ini tak luput berkat bimbingan, arahan, dan petunjuk dari berbagai pihak. Maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Ibu Prof. Dr. Eng. Ir. Tresna Dewi, S. T., M. Eng selaku Dosen Pembimbing I**
2. **Ibu Ir. Pola Risma, M.T. selaku Dosen Pembimbing II**

Selain itu Kemudian penulis juga mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan moril dan materil yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan ketentuan yang ditetapkan Politeknik Negeri Sriwijaya. Kepada :

1. Orang Tua serta seluruh Anggota Keluarga yang telah memberikan dukungan berupa doa, semangat, serta dukungan moril dan material selama menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Ir. Irawan Rusnadi, M.T. Selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Selamat Muslimin, S.T., M.T, IPM. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Ibu Lindawati, S.T., M.T.I. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Ibu Ir. Renny Maulidda, S.T., M.T. Selaku Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya
6. Bapak/Ibu Pendidik serta Staff Program Studi Sarjana Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
7. Seluruh staff teknisi laboratorium Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.

8. Teman - teman kelas 8 ELB dan khususnya 3 Rekan Seperjuangan yaitu Rendi, Ragil dan Agum. Yang tak henti - hentinya memberikan dukungan, semangat, dan hiburan selama pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
9. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan maupun kesalahan. Untuk itu penulis membuka diri atas segala kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat dilanjutkan menjadi tugas akhir yang bermanfaat bagi kita semua, umumnya para pembaca dan khususnya penulis serta bagi mahasiswa Politeknik Negeri Sriwijaya Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro.

Palembang, April 2026

Penulis

Agung Tantowi Junior

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	18
1.1 Latar Belakang	18
1.2 Rumusan Masalah	20
1.3 Batasan Masalah.....	20
1.4 Tujuan Penelitian.....	21
1.5 Manfaat Penelitian.....	22
1.6 Metode Penelitian.....	22
1.7 Sistematika Penulisan.....	23
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	25
2.1 <i>State of The Art</i>	25
2.2 Pertanian Modern dan Ekosistem Akuakultur Terkondisi Berbasis IoT 28	
2.2.1 Tinjauan Umum Akuakultur dan Parameter Ikan Nila.....	29
2.2.2 Sistem Akuakultur Terkondisi dengan Monitoring IoT	30
2.3 Arsitektur Perangkat Keras dan Platform <i>Internet of Things</i> (IoT)	31
2.3.1 Mikrokontroler ESP32-S3.....	32
2.3.2 Sensor Kualitas Air.....	33
2.3.3 Platform Antarmuka Blynk IoT.....	37
2.4 Pemodelan Prediksi Deret Waktu (<i>Time Series Model</i>)	37
2.5 <i>Autoregressive Integrated Moving Average with Explanatory Variables</i> (ARIMAX).....	38
2.5.1 Konsep Dasar Pemodelan ARIMAX.....	40
2.5.2 Uji Stasioneritas Data (<i>Augmented Dickey-Fuller Test</i>)	42

2.5.3	Penentuan Orde Parameter	43
2.6	<i>Support Vector Regression</i> (SVR)	45
2.6.1	Konsep Hiperbidang dan Margin Toleransi (ϵ -Tube)	46
2.6.2	Pemetaan Non-Linier dan Fungsi Kernel.....	48
2.7	<i>Feedforward Neural Network</i> (FNN).....	50
2.7.1	Struktur Lapisan Jaringan (<i>Input, Hidden, Output Layer</i>)	52
2.7.2	Fungsi Aktivasi <i>Rectified Linear Unit</i> (ReLU)	54
2.7.3	Algoritma Pembelajaran (<i>Backpropagation</i> dan <i>Epochs</i>).....	56
2.8	Arsitektur Prediksi <i>Hybrid Double-Stage</i>	58
2.9	Pra-Pemrosesan Data.....	59
2.9.1	Interpolasi Linier <i>Missing Values</i> dan Sinkronisasi Temporal	60
2.9.2	Deteksi Pencilan (<i>Outlier</i>) dengan Metode IQR	61
2.9.3	Resampling Data Deret Waktu	62
2.9.4	Normalisasi Data (<i>Min-Max Scaler</i>)	63
2.10	Evaluasi Performa Model dan <i>Ablation Study</i>	64
2.10.1	<i>Ablation Study</i> dalam Arsitektur <i>Double-Stage</i>	65
2.10.2	Metrik Evaluasi	65
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		67
3.1	Kerangka Pelaksanaan Laporan Tugas Akhir.....	67
3.2	Studi Literatur dan Perancangan Sistem	68
3.2.1	Desain <i>Internet of Things</i> (IoT).....	68
3.2.2	Desain Algoritma <i>Machine Learning</i>	69
3.2.3	Desain Elektrikal.....	70
3.2.4	Desain <i>Hardware</i>	71
3.3	Perakitan Perangkat dan Kalibrasi Sistem	72
3.3.1	Perakitan <i>Hardware</i>	73
3.3.2	Kalibrasi Sensor	73
3.3.3	Konfigurasi <i>Firmware</i> ESP32-S3 dan Blynk IoT	74
3.4	Proses Akuisisi Data.....	74
3.4.1	Pengambilan Data Eksogen <i>Hybrid</i>	75
3.4.2	Akuisisi Data Biometrik Pertumbuhan (Variabel Endogen)	76
3.5	Pra-Pemrosesan Data.....	76

3.5.1	Sinkronisasi Temporal dan Penanganan <i>Missing Values</i>	77
3.5.2	Pembersihan Data dan Deteksi <i>Outlier</i> (Metode IQR)	78
3.5.3	Resampling Deret Waktu (Penyelarasan Jam ke Minggu)	78
3.5.4	Normalisasi Data (<i>Min-Max Scaler</i>)	78
3.6	Skenario Pelatihan Model	79
3.6.1	Pembagian Dataset (<i>Training</i> dan <i>Testing</i> 80:20)	79
3.6.2	Konfigurasi Parameter Model	80
3.7	Skema Pengujian <i>Ablation Study</i> dan Evaluasi Performa	81
3.7.1	Pelatihan Tahap 1 Model ARIMAX	83
3.7.2	Pelatihan Tahap 1 Model SVR	85
3.7.3	Perhitungan <i>Residual Error</i> dari Kedua <i>Baseline Model</i>	87
3.7.4	Pelatihan Tahap 2 FNN sebagai Korektor Residual	88
3.8	Skema Pengujian Komparatif (<i>Ablation Study</i>)	91
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		95
4.1	Sistem Akuakultur Terkondisi berbasis IoT	95
4.2	<i>Feasibility Study</i> dan Validasi Instrumen	99
4.3	Akuisisi dan Karakteristik Dataset	101
4.3.1	Data Kualitas Air	102
4.3.2	Data Biometrik Pertumbuhan	105
4.3.3	Pra-pemrosesan Dataset	108
4.4	Konfigurasi Model dan Setup Eksperimen	113
4.5	Hasil <i>Benchmarking Baseline</i> (Penelitian Pendahuluan)	115
4.6	Prediksi <i>Baseline</i> pada Dataset Aktual	117
4.6.1	Prediksi <i>Baseline</i> ARIMAX	117
4.6.2	Prediksi <i>Baseline Support Vector Regression</i> (SVR)	118
4.6.3	Analisis Evaluasi Model <i>Baseline</i>	119
4.7	Implementasi <i>Hybrid Double-Stage Residual Correction</i>	120
4.7.1	Konsep <i>Residual Correction</i>	121
4.7.2	Analisis <i>Residual Error Baseline</i>	123
4.7.3	Pelatihan <i>Feedforward Neural Network</i> (FNN)	125
4.7.4	Rekonstruksi Prediksi <i>Hybrid</i>	128
4.7.5	Evaluasi Akhir <i>Hybrid</i>	132

4.8	<i>Ablation Study</i> dan Analisis <i>Benchmarking</i>	134
4.8.1	Desain <i>Ablation Study</i>	135
4.8.2	Evaluasi Perbandingan Skenario	136
4.8.3	Analisis Kontribusi <i>Residual Correction</i>	138
BAB V PENUTUP		141
5.1	Kesimpulan	141
5.2	Saran	142
DAFTAR PUSTAKA.....		143

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Akuakultur Modern [16]	29
Gambar 2. 2 ESP32-S3 [23]	33
Gambar 2. 3 Sensor Suhu Digital DS18B20 [27]	34
Gambar 2. 4 Sensor Tingkat Keasaman (pH-4502C) [28]	35
Gambar 2. 5 <i>Portable</i> DO Meter DO9100 [30].....	36
Gambar 2. 6 Blynk IoT [33]	37
Gambar 2. 7 Arsitektur ARIMAX	41
Gambar 2. 8 Arsitektur SVR	50
Gambar 2. 9 Arsitektur FNN <i>Double Stages</i>	54
Gambar 2. 10 Arsitektur <i>Double-Stage</i> FNN	59
Gambar 3. 1 Kerangka Pelaksanaan Tugas Akhir	67
Gambar 3. 2 Desain IoT	69
Gambar 3. 3 Desain <i>Machine Learning</i>	70
Gambar 3. 4 Diagram Blok Desain Elektrikal	71
Gambar 3. 5 Desain dan Wiring Diagram Sensor Suhu, pH dan DO	71
Gambar 3. 6 Desain Sensor pada Kolam Ikan Nila (Tampak Atas)	72
Gambar 3. 7 Desain Sensor pada Kolam Ikan Nila (Tampak Samping)	72
Gambar 3. 8 Arsitektur Sistem Akuisisi Data <i>Hybrid</i>	76
Gambar 3. 9 Skema Pemodelan Prediksi <i>Double-Stage</i>	82
Gambar 3. 10 Arsitektur ARIMAX	85
Gambar 3. 11 Arsitektur <i>Support Vector Regression</i>	87
Gambar 3. 12 Arsitektur <i>FeedForward Neural Network</i>	90
Gambar 3. 13 Desain Arsitektur <i>Hybrid</i>	91
Gambar 4. 1 <i>Experimental Tested</i> Akuakultur Terkondisi IoT	95
Gambar 4. 2 Implementasi Sensor Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Nila	97
Gambar 4. 3 <i>Dashboard Monitoring</i> Suhu Air Secara <i>Real-Time</i> pada Aplikasi Blynk IoT	98
Gambar 4. 4 Kalibrasi Sensor Suhu DS18B20 dan Kalibrasi Sensor pH PH-4502C	99
Gambar 4. 5 Verifikasi <i>Portable</i> DO Meter (DO9100)	100
Gambar 4. 6 Tren Kualitas Air Ekosistem Akuakultur Selama 12 Minggu	104

Gambar 4. 7 Proses Pengukuran Ikan Nila	106
Gambar 4. 8 Laju Pertumbuhan Aktual Bobot Ikan Nila	108
Gambar 4. 9 Deteksi Anomali Parameter Kualitas Air dengan Boxplot IQR	109
Gambar 4. 10 Perbandingan Skala Fitur Sebelum dan Sesudah Normalisasi <i>Min-Max Scaler</i>	110
Gambar 4. 11 <i>Heatmap</i> Korelasi <i>Pearson</i> Antar Variabel Dataset	111
Gambar 4. 12 Prediksi Bobot Ikan Nila Model ARIMAX dan SVR pada Penelitian Pendahuluan	116
Gambar 4. 13 Prediksi <i>Baseline</i> ARIMAX terhadap Biomassa Aktual.....	118
Gambar 4. 14 Prediksi <i>Baseline</i> SVR terhadap Biomassa Aktual	119
Gambar 4. 15 Arsitektur <i>Hybrid Double-Stage Residual Correction</i> untuk Prediksi Biomassa Ikan Nila	122
Gambar 4. 16 Distribusi Residual Error Model <i>Baseline</i> pada Tahap Pertama..	124
Gambar 4. 17 Konvergensi Pelatihan <i>Feedforward Neural Network</i> pada Proses <i>Residual Learning</i>	127
Gambar 4. 18 Prediksi ARIMAX-FNN terhadap Data Aktual	130
Gambar 4. 19 Prediksi SVR-FNN terhadap Data Aktual	130
Gambar 4. 20 Perbandingan Menyeluruh <i>Baseline</i> dan <i>Hybrid</i>	131

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>State of The Art</i>	25
Tabel 2. 2 Parameter Kualitas Air	30
Tabel 2. 3 Spesifikasi Teknis Instrumen Kualitas Air	36
Tabel 2. 4 Komponen ARIMAX.....	41
Tabel 2. 5 Metode Uji Statistik ARIMAX	45
Tabel 2. 6 Karakteristik Hyperparameter SVR dan Implikasi Penyetelannya	50
Tabel 2. 7 Konfigurasi Topologi Lapisan <i>Feedforward Neural Network</i> (FNN) ..	54
Tabel 2. 8 Parameter Konfigurasi Pelatihan Algoritma FNN	58
Tabel 3. 1 Frekuensi Pengambilan Data Parameter Observasi	75
Tabel 3. 2 Konfigurasi Hyperparameter Model Komputasi <i>Hybrid</i>	80
Tabel 3. 3 <i>Pseudocode</i> ARIMAX	84
Tabel 3. 4 <i>Pseudocode Support Vector Regression</i>	86
Tabel 3. 5 <i>Pseudocode Feed Forward Neural Network Hybrid</i>	89
Tabel 3. 6 Skenario <i>Ablation Study</i>	93
Tabel 4. 1 Hasil Kalibrasi dan Verifikasi Instrumen (<i>Feasibility Study</i>)	100
Tabel 4. 2 Ringkasan Mekanisme Akuisisi Data Kualitas Air	103
Tabel 4. 3 Data Biometrik Pertumbuhan Ikan Nila Selama 12 Minggu	107
Tabel 4. 4 Transformasi Rentang Nilai Variabel Menggunakan <i>Min-Max Scaler</i>	110
Tabel 4. 5 Dataset Final Hasil Pra-pemrosesan dan Pembagian Subset Pelatihan- Pengujian	112
Tabel 4. 6 Ringkasan Transformasi Dataset Hasil Pra-pemrosesan	113
Tabel 4. 7 Konfigurasi Hyperparameter Model pada Pengujian Tugas Akhir.....	115
Tabel 4. 8 Perbandingan Kinerja Model <i>Baseline</i> pada Penelitian Pendahuluan	116
Tabel 4. 9 Hasil Evaluasi Model <i>Baseline</i> pada Dataset Aktual	119
Tabel 4. 10 <i>Dataset Residual Error Baseline</i>	124
Tabel 4. 11 Parameter Pelatihan <i>Feedforward Neural Network</i>	127
Tabel 4. 12 Hasil Prediksi <i>Hybrid Final</i>	129
Tabel 4. 13 Evaluasi Performa Model	132
Tabel 4. 14 Desain Skenario <i>Ablation Study</i>	136
Tabel 4. 15 Hasil Evaluasi <i>Ablation Study</i> pada Empat Skenario Model	136

Tabel 4. 16 Kontribusi <i>Residual Correction</i> Berdasarkan ERR	138
--	-----