

Summary Buku

Buku ini membahas penerapan Internet of Things (IoT) pada sektor perairan sebagai solusi transformasi digital untuk monitoring, analisis, dan pengelolaan perairan secara cerdas. Materi di dalamnya mencakup konsep dasar IoT, karakteristik lingkungan perairan, parameter kualitas air, sensor dan perangkat monitoring, arsitektur sistem, komunikasi data, cloud, dashboard monitoring, serta sistem peringatan dini. Buku ini juga mengulas integrasi kecerdasan buatan dalam pengelolaan perairan dan menyajikan studi kasus implementasi pada danau, waduk, tambak, dan budidaya perairan.



Monitoring
Kualitas Air



Dashboard &
Data Real-Time



Sistem
Peringatan Dini



Implementasi IoT
Sektor Perairan



Internet of Things pada Sektor Perairan

Konsep, Teknologi, dan Implementasi Sistem Monitoring Cerdas



Sensor, Data, Dashboard, dan
Peringatan Dini untuk Pengelolaan
Perairan Berkelanjutan



Suhu
25.6 °C

pH
7.35

OKSIGEN
TERLARUT (DO)
6.42 mg/L

TURBIDITAS
12.8 NTU

KONDUKTIVITAS
268 µS/cm



MONITORING
REAL-TIME



DATA AKURAT
DAN TERINTEGRASI



PERINGATAN
DINI



PENGELOLAAN
BERKELANJUTAN

Andi Ircham Hidayat

NOBEL PRESS

NOBEL PRESS
Jl. Sultan Alauddin No. 212 Makassar
Website: nobelpress.nobel.ac.id
Email: nobelpress@nobel.ac.id

ISBN 978-623-6936-95-5 (PDF)



9

786236

936955

**INTERNET OF THINGS PADA
SEKTOR PERAIRAN**
**Konsep, Teknologi, dan Implementasi
Sistem Monitoring Cerdas**

Penulis:
Andi Ircham Hidayat

Editor:
Nur Fahmi Akhmad



Penerbit
Nobel Press
2026

INTERNET OF THINGS PADA SEKTOR PERAIRAN KONSEP, TEKNOLOGI, DAN IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING CERDAS

Penulis:

Andi Ircham Hidayat

ISBN: 978-623-6936-95-5

Editor:

Nur Fahmi Akhmad

Cetakan Pertama: Juli 2026

Isi di luar tanggungjawab percetakan

Hak Cipta 2026, Pada Penulis

Copyright © 2026 by Nobel Press

All Right Reserved Hak

Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang keras menerjemahkan, memfotocopy, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

PENERBIT NOBEL PRESS

(ITB NOBEL INDONESIA MAKASSAR)

Anggota APPTI

Kampus ITB Nobel Indonesia, Jalan Sultan Alauddin

No. 212 Makassar

<https://nobelpress.nobel.ac.id/>

email: nobelpress@nobel.ac.id

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya buku referensi ini dapat disusun sebagai bagian dari ikhtiar akademik untuk memperkenalkan, menjelaskan, dan memperluas pemahaman mengenai penerapan **Internet of Things (IoT) pada sektor perairan**.

Sektor perairan memiliki peran yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Air bukan hanya sumber daya alam, tetapi juga ruang hidup bagi berbagai ekosistem, penopang ketahanan pangan, penggerak ekonomi, serta bagian penting dari keberlanjutan lingkungan. Danau, waduk, sungai, tambak, kolam, pesisir, dan keramba jaring apung merupakan contoh lingkungan perairan yang memiliki karakteristik berbeda, namun sama-sama membutuhkan pengelolaan yang cermat dan berbasis informasi.

Di tengah perubahan lingkungan, meningkatnya kebutuhan pangan, tekanan aktivitas manusia, serta tantangan kualitas air, pendekatan pengelolaan perairan tidak lagi cukup hanya mengandalkan pengamatan manual yang bersifat sesaat. Diperlukan sistem yang mampu memantau kondisi perairan secara lebih cepat, kontinu, dan terukur. Pada titik inilah IoT hadir sebagai salah satu solusi penting. Melalui sensor, perangkat pengendali, jaringan komunikasi, cloud, dashboard, sistem peringatan dini, hingga integrasi kecerdasan buatan,

kondisi perairan dapat dibaca, dianalisis, dan dijadikan dasar pengambilan keputusan.

Buku ini disusun dengan pendekatan ilmiah, tetapi tetap berupaya menggunakan bahasa yang mengalir dan mudah dipahami. Tujuannya bukan hanya menyajikan konsep teknis, tetapi juga membangun pemahaman yang utuh bahwa IoT sektor perairan adalah perpaduan antara teknologi, lingkungan, data, manusia, dan tata kelola. Oleh karena itu, pembahasan dalam buku ini tidak hanya berhenti pada perangkat sensor, tetapi juga mencakup karakteristik perairan, parameter kualitas air, arsitektur sistem, komunikasi data, penyimpanan cloud, visualisasi dashboard, sistem peringatan dini, kecerdasan buatan, studi kasus implementasi, serta arah pengembangan masa depan menuju pengelolaan perairan yang berkelanjutan.

Buku ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, dosen, peneliti, praktisi teknologi, pembudidaya perairan, pengelola lingkungan, pemerintah, serta masyarakat umum yang memiliki perhatian terhadap transformasi digital pada sektor perairan. Bagi kalangan akademik, buku ini dapat menjadi pijakan konseptual untuk penelitian dan pengembangan sistem IoT. Bagi praktisi, buku ini dapat menjadi gambaran aplikatif mengenai bagaimana teknologi dapat digunakan untuk mendukung pemantauan dan pengambilan keputusan. Bagi pengambil kebijakan, buku ini

dapat menjadi bahan refleksi bahwa pengelolaan perairan berbasis data menjadi kebutuhan yang semakin penting di masa depan.

Penulis menyadari bahwa perkembangan teknologi IoT, sensor, komunikasi data, dan kecerdasan buatan berlangsung sangat cepat. Oleh karena itu, buku ini tidak dimaksudkan sebagai akhir dari pembahasan, melainkan sebagai landasan awal untuk memahami dan mengembangkan inovasi lebih lanjut. Masih banyak ruang pengembangan, baik dari sisi perangkat keras, perangkat lunak, model prediksi, tata kelola data, maupun penerapan pada berbagai kondisi perairan di Indonesia.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat, memperkaya wawasan, serta mendorong lahirnya penelitian, inovasi, dan implementasi teknologi yang lebih luas dalam pengelolaan sektor perairan.

Akhir kata, semoga buku ini dapat menjadi bagian kecil dari upaya besar untuk menjaga sumber daya air, memperkuat ketahanan pangan, mendukung ekonomi biru, serta mewujudkan pengelolaan perairan yang lebih cerdas, adaptif, dan berkelanjutan.

Makassar, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB 1. Pendahuluan Sektor Perairan dan Transformasi Digital....	1
1.1 Perairan dalam Kehidupan dan Pembangunan.....	1
1.2 Kompleksitas Tantangan Sektor Perairan	4
1.3 Keterbatasan Monitoring Konvensional	7
1.4 Digitalisasi sebagai Arah Baru Pengelolaan Perairan.....	10
1.5 Internet of Things dalam Konteks Sektor Perairan	12
1.6 Ruang Lingkup Penerapan IoT Sektor Perairan.....	15
1.7 Menuju Pengelolaan Perairan yang Lebih Cerdas	18
BAB 2. Konsep Dasar Internet of Things.....	21
2.1 Memahami Internet of Things.....	22
2.2 Perkembangan dan Pergeseran Paradigma Teknologi	24
2.3 IoT sebagai Ekosistem Terhubung.....	26
2.4 Komponen Utama Internet of Things.....	29
2.5 Arsitektur Dasar Internet of Things.....	33
2.6 Data sebagai Inti Sistem IoT	36
2.7 Konektivitas dan Protokol Komunikasi IoT	39
2.8 IoT, Cloud, dan Komputasi Tepi.....	44
2.9 Keamanan dan Keandalan Sistem IoT.....	45
2.10 IoT dalam Monitoring Lingkungan Perairan	48
2.11 Batasan dan Tantangan Implementasi IoT	50

2.12 Penutup: Dari Perangkat Terhubung Menuju Sistem Cerdas	52
BAB 3. Karakteristik Lingkungan Perairan	54
3.1 Memahami Lingkungan Perairan	55
3.2 Klasifikasi Lingkungan Perairan	56
3.3 Perairan Tawar, Payau, Pesisir, dan Budidaya	59
3.4 Danau dan Waduk sebagai Sistem Perairan Berlapis.....	62
3.5 Sungai sebagai Sistem Perairan Mengalir.....	65
3.6 Tambak dan Perairan Payau.....	67
3.7 Pesisir, Muara, dan Dinamika Pasang Surut.....	68
3.8 Dinamika Fisik, Kimia, Biologis, dan Antropogenik.....	70
3.9 Implikasi Karakteristik Perairan terhadap Desain IoT.....	72
3.10 Karakteristik Perairan sebagai Dasar Pengambilan Keputusan.....	75
BAB 4. Parameter Kualitas Air dan Risiko Lingkungan.....	77
4.1 Makna Kualitas Air dalam Sektor Perairan	79
4.2 Kualitas Air sebagai Indikator Kesehatan Perairan.....	81
4.3 Parameter Fisik, Kimia, dan Biologis.....	83
4.4 Suhu Air	87
4.5 Derajat Keasaman atau pH.....	89
4.6 Oksigen Terlarut	90
4.7 Kekeruhan atau Turbiditas.....	92
4.8 Salinitas dan Konduktivitas	93
4.9 Amonia, Nitrat, dan Nutrien	95
4.10 Hubungan Antarparameter dalam Ekosistem Perairan.....	97
4.11 Ambang Batas, Status Risiko, dan Interpretasi Data	99
4.12 Pemilihan Parameter untuk Sistem IoT Sektor Perairan .	102

4.13 Parameter Kualitas Air sebagai Dasar Sistem Cerdas	105
BAB 5. Sensor dan Perangkat IoT pada Sektor Perairan	107
5.1 Sensor sebagai Pintu Masuk Data	108
5.2 Klasifikasi Sensor Monitoring Perairan.....	110
5.3 Sensor Suhu Air	113
5.4 Sensor pH	114
5.5 Sensor Oksigen Terlarut	116
5.6 Sensor Kekeruhan	117
5.7 Sensor Salinitas dan Konduktivitas	118
5.8 Sensor Amonia dan Nutrien	120
5.9 Prinsip Kerja Sensor Kualitas Air.....	121
5.10 Perangkat Pengendali dalam Sistem IoT	124
5.11 Mikrokontroler dan Single Board Computer	125
5.12 Modul Komunikasi	128
5.13 Sumber Daya Energi dan Panel Surya.....	129
5.14 Enclosure, Kabel, dan Proteksi Lingkungan	131
5.15 Aktuator dan Sistem Respons Otomatis	133
5.16 Strategi Penempatan Sensor di Lapangan.....	134
5.17 Pertimbangan Pemilihan Sensor dan Perangkat	136
5.18 Kalibrasi dan Pemeliharaan Sensor	140
5.19 Integrasi Sensor dengan Dashboard dan Sistem Notifikasi	141
5.20 Dari Sensor Menuju Sistem yang Dapat Dipercaya	143
BAB 6. Arsitektur Sistem Monitoring Perairan Berbasis IoT.....	144
6.1 Arsitektur sebagai Kerangka Kerja Sistem	145
6.2 Konsep Arsitektur Sistem IoT Perairan.....	147

6.3 Arsitektur Berlapis Sistem IoT.....	151
6.4 Lapisan Sensor dan Akuisisi Data	153
6.5 Edge Device dan Pengolahan Awal.....	155
6.6 Jaringan Komunikasi Data	156
6.7 Cloud, Edge, dan Hybrid Architecture	157
6.8 Alur Data dalam Sistem Monitoring Perairan	159
6.9 Server, API, dan Database.....	162
6.10 Dashboard dan Antarmuka Pengguna	163
6.11 Sistem Notifikasi dan Peringatan Dini	164
6.12 Arsitektur Sistem untuk Danau dan Waduk.....	166
6.13 Arsitektur Sistem untuk Tambak dan Kolam Budidaya ...	167
6.14 Penyesuaian Arsitektur Berdasarkan Karakteristik Lokasi	169
6.15 Keamanan Sistem dalam Arsitektur IoT.....	172
6.16 Skalabilitas dan Keberlanjutan Sistem	173
6.17 Penutup: Membangun Sistem yang Terintegrasi dan Adaptif.....	174
BAB 7. Komunikasi Data, Cloud, dan Penyimpanan Data.....	176
7.1 Data sebagai Aset dalam Sistem IoT Perairan.....	177
7.2 Karakteristik Data Sensor Perairan	179
7.3 Alur Komunikasi Data pada Sistem IoT Perairan	181
7.4 Format Data dan Identitas Perangkat.....	183
7.5 Teknologi Komunikasi untuk Pengiriman Data	185
7.6 Protokol Pengiriman Data IoT	188
7.7 Gateway dalam Sistem IoT Perairan.....	190
7.8 Cloud Computing dalam Monitoring Perairan.....	191

7.9 Server Lokal dan Cloud: Memilih Pendekatan yang Sesuai	193
7.10 Database sebagai Penyimpanan Data Sensor	194
7.11 Struktur Database untuk Data Sensor	195
7.12 Validasi dan Kualitas Data.....	197
7.13 Data Real-Time dan Data Historis.....	199
7.14 Keamanan Data dan Akses Pengguna	200
7.15 Strategi Penyimpanan Jangka Panjang.....	202
7.16 Penutup: Data yang Terkirim, Tersimpan, dan Bermakna	203
BAB 8. Dashboard Monitoring dan Visualisasi Data Perairan ...	204
8.1 Dashboard sebagai Jendela Sistem Monitoring	205
8.2 Fungsi Dashboard dalam Sistem Monitoring Perairan.....	207
8.3 Dashboard sebagai Media Pengambilan Keputusan.....	209
8.4 Komponen Utama Dashboard Monitoring.....	211
8.5 Prinsip Visualisasi Data Perairan	214
8.6 Visualisasi Parameter Kualitas Air.....	216
8.7 Indikator Status dan Warna Risiko	218
8.8 Visualisasi Spasial melalui Peta Sensor.....	220
8.9 Status Perangkat dan Koneksi	222
8.10 Laporan dan Ekspor Data	223
8.11 Pengalaman Pengguna dalam Dashboard IoT	225
8.12 Contoh Rancangan Dashboard Monitoring Perairan	227
8.13 Kesalahan Umum dalam Desain Dashboard.....	228
8.14 Penutup: Visualisasi sebagai Bahasa Pengambilan Keputusan.....	229
BAB 9. Sistem Peringatan Dini Berbasis IoT	231
9.1 Dari Monitoring Menuju Peringatan Dini.....	232

9.2 Makna Peringatan Dini dalam Pengelolaan Perairan	234
9.3 Risiko Lingkungan yang Membutuhkan Peringatan Dini ...	236
9.4 Ambang Batas dan Konteks Lokal	239
9.5 Alur Kerja Sistem Peringatan Dini	240
9.6 Klasifikasi Status Risiko	242
9.7 Aturan Peringatan Berbasis Ambang Batas	244
9.8 Kanal Notifikasi dalam Sistem Peringatan	246
9.9 Eskalasi Peringatan	248
9.10 Respons Manual dan Respons Otomatis	250
9.11 Penyusunan Pesan Peringatan yang Efektif	252
9.12 Contoh Skenario Peringatan Dini	253
9.13 Dokumentasi Kejadian dan Riwayat Peringatan	255
9.14 Evaluasi dan Penyempurnaan Sistem Peringatan	256
9.15 Integrasi Peringatan Dini dengan Tata Kelola Perairan ...	258
9.16 Penutup: Peringatan yang Dapat Ditindaklanjuti	259
BAB 10. Integrasi Artificial Intelligence dalam Sistem Perairan Cerdas	261
10.1 Data IoT sebagai Dasar Kecerdasan Sistem	262
10.2 Dari Monitoring ke Sistem Prediktif	264
10.3 Tingkatan Analisis Data Perairan	266
10.4 Peran Kecerdasan Buatan dalam Sistem Perairan	268
10.5 Machine Learning untuk Data Perairan	269
10.6 Tahapan Pengembangan Model AI	271
10.7 Pemilihan Fitur dan Variabel Model	273
10.8 Deteksi Anomali Kondisi Perairan	276
10.9 Klasifikasi Kondisi Kualitas Air	277

10.10 Prediksi Berbasis Data Time Series.....	279
10.11 Model LSTM untuk Prediksi Kualitas Air	280
10.12 Evaluasi Kinerja Model AI	282
10.13 Interpretasi dan Kepercayaan terhadap Model.....	284
10.14 Integrasi Model AI ke dalam Sistem IoT	285
10.15 Tantangan Implementasi AI pada IoT Perairan.....	287
10.16 Etika dan Kehati-hatian dalam Penggunaan AI.....	288
10.17 Penutup: Menuju Sistem Perairan yang Adaptif dan Prediktif.....	289
BAB 11. Studi Kasus Implementasi IoT pada Danau, Waduk, Tambak, dan Keramba.....	291
11.1 Studi Kasus Implementasi IoT pada Danau	292
11.2 Studi Kasus Implementasi IoT pada Waduk	295
11.3 Studi Kasus Implementasi IoT pada Tambak	299
11.4 Studi Kasus Implementasi IoT pada Keramba.....	303
BAB 12. Tantangan, Keamanan Data, dan Masa Depan IoT Sektor Perairan	309
12.1 Dari Prototipe Menuju Sistem yang Digunakan	310
12.2 Tantangan Keberlanjutan Teknologi	311
12.3 Kesiapan Sumber Daya Manusia	313
12.4 Kolaborasi sebagai Kunci Pengembangan.....	314
12.5 Standardisasi dan Tata Kelola Data.....	316
12.6 Keberlanjutan Pembiayaan dan Model Operasional.....	317
12.7 Roadmap Pengembangan IoT Sektor Perairan	318
12.8 Agenda Strategis untuk Pengembangan ke Depan	320
12.9 Arah Masa Depan: Perairan Cerdas dan Ekonomi Biru ...	323

12.10 Penutup: Menjaga Air dengan Pengetahuan dan Teknologi	324
REFERENSI	327

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Contoh Penerapan IoT pada berbagai jenis perairan....	17
Tabel 2. 1 Komponen Utama Sistem IoT dan Fungsinya	32
Tabel 2. 2 Teknologi Komunikasi dalam Sistem IoT	42
Tabel 3. 1 Karakteristik Umum Berbagai Jenis Lingkungan Perairan	61
Tabel 3. 2 Implikasi Karakteristik Perairan terhadap Desain Sistem IoT.....	74
Tabel 4. 1 Parameter Kualitas Air dan Maknanya dalam Monitoring Perairan	85
Tabel 4. 2 Contoh Parameter Prioritas Berdasarkan Jenis Perairan.	104
Tabel 5. 1 Klasifikasi Sensor Monitoring Perairan.....	112
Tabel 5. 2 Prinsip Kerja Beberapa Sensor Utama	123
Tabel 5. 3 Perbandingan Mikrokontroler dan Single Board Computer	127
Tabel 5. 4 Pertimbangan Pemilihan Sensor untuk Sistem IoT Perairan	138
Tabel 6. 1 Komponen Arsitektur Sistem Monitoring Perairan Berbasis IoT.....	150

Tabel 6. 2 Perbandingan Arsitektur Berbasis Cloud, Edge, dan Hybrid	159
Tabel 6. 3 Contoh Kebutuhan Arsitektur Berdasarkan Jenis Perairan	171
Tabel 7. 1 Karakteristik Data Sensor dalam Monitoring Perairan	180
Tabel 7. 2 Perbandingan Teknologi Komunikasi Data IoT	187
Tabel 7. 3 Perbandingan Protokol HTTP, MQTT, dan CoAP	189
Tabel 7. 4 Contoh Struktur Data Sensor Perairan.....	196
Tabel 8. 1 Kebutuhan Dashboard Berdasarkan Jenis Pengguna	211
Tabel 8. 2 Bentuk Visualisasi Data dan Fungsinya.....	215
Tabel 8. 3 Contoh Indikator Status pada Dashboard Monitoring Perairan.	219
Tabel 9. 1 Contoh Risiko Perairan dan Parameter Pemantauannya	238
Tabel 9. 2 Contoh Aturan Peringatan Berdasarkan Parameter....	245
Tabel 9. 3 Kanal Notifikasi dan Kesesuaian Penggunaannya.....	247
Tabel 9. 4 Evaluasi Kinerja Sistem Peringatan Dini	257
Tabel 10. 1 Jenis Analisis Data dalam Sistem IoT Perairan	267
Tabel 10. 2 Contoh Penerapan Machine Learning pada Sektor Perairan	270
Tabel 10. 3 Contoh Fitur Data untuk Model Prediksi Kualitas Air	275
Tabel 10. 4 Metrik Evaluasi Model Prediksi dan Klasifikasi.....	283
Tabel 11. 1 Perbandingan Implementasi IoT pada Danau, Waduk, Tambak, dan Keramba	307
Tabel 12. 1 Agenda Strategis Pengembangan IoT Sektor Perairan	322

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peran Strategis Sektor Perairan	1
Gambar 1. 2 Perbedaan Monitoring Konvensional dan Monitoring Berbasis IoT	8
Gambar 2. 1 Ekosistem Internet of Things	29
Gambar 2. 2 Arsitektur Berlapis Sistem IoT	36
Gambar 2. 3 Siklus Data dalam Sistem IoT	39
Gambar 3. 1 Klasifikasi Lingkungan Perairan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 2 Dinamika Lapisan Air pada Danau dan Waduk	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 3 Interaksi Faktor Fisik, Kimia, Biologis, dan Aktivitas Manusia dalam Perairan	71
Gambar 4. 1 Parameter Utama Kualitas Air dalam Monitoring Perairan	83
Gambar 4. 2 Hubungan Antarparameter Kualitas Air	99
Gambar 4. 3 Ambang Status Kualitas Air untuk Sistem Monitoring IoT	101
Gambar 5. 1 Klasifikasi Sensor Monitoring Perairan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5. 2 Contoh Sensor Utama dalam Monitoring Kualitas Air.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 5. 3 Arsitektur Perangkat IoT Monitoring Perairan	126
Gambar 5. 4 Sistem Daya Perangkat IoT di Area Perairan	130

Gambar 5. 5 Enclosure dan Proteksi Perangkat IoT .	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 5. 6 Penempatan Sensor pada Lingkungan Perairan....	136
Gambar 6. 1 Arsitektur Umum Sistem Monitoring Perairan Berbasis IoT.....	149
Gambar 6. 2 Lapisan Sistem IoT untuk Monitoring Perairan.....	153
Gambar 6. 3 Alur Data dari Sensor ke Dashboard.....	161
Gambar 6. 4 Contoh Arsitektur Monitoring IoT pada Danau atau Waduk	167
Gambar 6. 5 Contoh Arsitektur Monitoring IoT pada Tambak atau Kolam Budidaya.....	169
Gambar 7. 1 Alur Komunikasi Data dari Perangkat IoT ke Cloud	Error! Bookmark not defined.
Gambar 7. 2 Teknologi Komunikasi Data pada Sistem IoT Perairan	186
Gambar 7. 3 Peran Cloud dalam Sistem Monitoring Perairan.....	192
Gambar 7. 4 Struktur Penyimpanan Data Sensor Perairan.....	197
Gambar 7. 5 Data Real-Time, Data Historis, dan Analisis Tren....	200
Gambar 8. 1 Konsep Dashboard Monitoring Perairan Berbasis IoT	209
Gambar 8. 2 Komponen Utama Dashboard Monitoring Perairan	213
Gambar 8. 3 Contoh Tampilan Dashboard Kualitas Air Real-Time	218
Gambar 8. 4 Peta Lokasi Sensor dan Status Titik Monitoring.....	222
Gambar 8. 5 Desain Alur Pengguna pada Dashboard Monitoring Perairan	226

Gambar 9. 1 Konsep Sistem Peringatan Dini pada Sektor Perairan	235
Gambar 9. 2 Alur Deteksi Risiko dan Pengiriman Notifikasi....	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 9. 3 Matriks Tingkat Risiko Parameter Kualitas Air	243
Gambar 9. 4 Skema Eskalasi Peringatan dan Respons Pengguna	250
Gambar 9. 5 Contoh Skenario Peringatan Dini DO Rendah pada Budidaya Perairan.....	254
Gambar 10. 1 Evolusi Sistem IoT dari Monitoring menuju Prediksi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 10. 2 Alur Pengembangan Model AI untuk Data Perairan	273
Gambar 10. 3 Deteksi Anomali pada Data Kualitas Air.....	277
Gambar 10. 4 Model Prediksi Time Series Kualitas Air	280
Gambar 10. 5 Integrasi AI dengan Dashboard dan Sistem Peringatan.....	286
Gambar 11. 1 Studi Kasus Implementasi IoT pada Danau.....	294
Gambar 11. 2 Studi Kasus Implementasi IoT pada Waduk	298
Gambar 11. 3 Studi Kasus Implementasi IoT pada Tambak	302
Gambar 11. 4 Studi Kasus Implementasi IoT pada Keramba Jaring Apung	306
Gambar 12. 1 Roadmap Transformasi IoT Sektor Perairan Menuju Sistem Berkelanjutan	320