

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah jaringan perangkat fisik yang terhubung melalui internet untuk mengumpulkan dan bertukar data. IoT memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi dan berinteraksi satu sama lain serta dengan sistem yang lebih luas untuk meningkatkan efisiensi dan menghasilkan data yang berguna. Dalam konteks sistem monitoring kualitas air, IoT digunakan untuk menghubungkan sensor-sensor yang mengukur parameter air dengan platform pengolahan data, memungkinkan pemantauan real-time dan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat. Menurut Efendi, Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus [4].

2.1.2 Manfaat *Internet of Things*

Manfaat IoT sangat luas dan dapat dirasakan dalam berbagai aspek kehidupan. IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time dari berbagai perangkat dan proses. Dengan analisis data yang tepat, organisasi dapat mengidentifikasi area-area di mana efisiensi dapat ditingkatkan, mengurangi limbah, mengoptimalkan operasi, dan menghemat biaya. IoT dapat digunakan untuk memantau kondisi lingkungan, seperti kualitas udara, air, dan tanah. Ini membantu dalam deteksi polusi, pemantauan perubahan iklim, dan menjaga keberlanjutan lingkungan secara keseluruhan. Oleh karena itu konsep IoT ini sangat cocok diterapkan dalam sistem monitoring kualitas air tawar .

2.2. Standar Kualitas Air

Standar kualitas air tawar menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) mencakup berbagai parameter untuk memastikan bahwa air tersebut aman untuk digunakan, baik untuk minum, industri, atau keperluan lainnya. Berikut adalah beberapa parameter utama yang diatur dalam standar SNI untuk air tawar (SNI 01-3553-2006). Warna maksimal adalah 15 TCU (*True Color Units*), tidak berbau, tidak berasa, memiliki kekeruhan maksimal 5 NTU (*Nephelometric Turbidity Units*), suhu sesuai dengan kondisi setempat, tidak lebih dari 3°C di atas suhu udara. Untuk parameter kimia air tawar menurut SNI yaitu dengan kadar pH 6.5 - 8.5, TDS (*Total Dissolved Solids*) maksimal 500 mg/L, besi (Fe) maksimal 0.3 mg/L, mangan (Mn) maksimal 0.1 mg/L, kesadahan (CaCO_3), maksimal 500 mg/L, klorida (Cl) maksimal 250 mg/L, sulfat (SO_4) maksimal 250 mg/L, nitrat (NO_3) maksimal 10 mg/L, nitrit (NO_2) maksimal 1 mg/L, fluorida (F) maksimal 1.5 mg/L, amonia (NH_3) maksimal 1.5 mg/L, klor bebas: 0.2 - 0.5 mg/L.

Sedangkan parameter mikrobiologi air tawar yaitu total coliform 0 per 100 mL, *E. coli* 0 per 100 mL (SNI 06-6989.11-2004). Total Zat Padat Terlarut (TDS) maksimal 1000 mg/L untuk air tawar umum dan maksimal 500 mg/L untuk air minum. Parameter kualitas air yang umum diukur meliputi pH, suhu, ketinggian air, dan salinitas. Masing-masing parameter ini memiliki dampak penting terhadap ekosistem air tawar:

2.2.1. pH (Tingkat Keasaman/Basaan)

pH mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air. Skala pH berkisar dari 0 hingga 14, dengan 7 sebagai titik netral. Nilai di bawah 7 menunjukkan keasaman, sedangkan nilai di atas 7 menunjukkan kebasaan. Tingkat pH yang tidak sesuai

dapat menyebabkan stres pada organisme air dan mempengaruhi reaksi kimia dalam air, yang dapat mempengaruhi kualitas hidup biota air. Salah satu penelitian menjelaskan bahwa organisme hidup air tawar hanya dapat hidup pada pH antara 6,8-8,0 dan perubahan pH yang terjadi pada air dapat terjadi sewaktu-waktu.

2.2.2. Suhu

Suhu air mempengaruhi banyak aspek kehidupan akuatik, termasuk laju metabolisme organisme dan kelarutan oksigen dalam air. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat berbahaya bagi organisme air dan dapat mempengaruhi aktivitas biologis dan kimia dalam air. Misalnya pada hasil penelitian sebelumnya menunjukkan larva ikan lele dumbo dapat memangsa plankton hingga mencapai 169 ind/jam, sehingga dapat menghasilkan laju pertumbuhan panjang dan bobot spesifik sebesar 22.69%/ hari dan 33.37%/hari pada suhu optimal berkisar antara 28.75 - 30°C. Sehingga suhu yang optimal untuk meningkatkan laju pemangsaan plankton dan pertumbuhan larva ikan lele berkisar antara 28.75 - 30 [5].

2.2.3 Ketinggian Air

Ketinggian air mengacu pada volume air dalam sistem akuarium atau tambak. Ini biasanya diukur untuk memastikan tingkat air tetap stabil. Seperti pada penelitian Haris, R. B. K., Kelana, P. P., Basri, M., Nugraha, J. P., & Arumwati, A. (2021), penelitian tersebut bertujuan mengetahui pertumbuhan dan kelangsungan hidup benih ikan maskoki (*Carassius auratus*) dengan ketinggian air yang berbeda. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa ketinggian air yang terbaik terdapat pada perlakuan B2 (ketinggian air 10 cm) sebesar 0.77 gr serta pertumbuhan panjang rata-rata ikan maskoki (*Carassius auratus*) sebesar 1.12 cm dan tingkat

kelangsungan hidup ikan Maskoki (*Carassius auratus*) sebesar 96.67% [10]. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan ketinggian air dapat mempengaruhi konsentrasi nutrisi dan zat kimia lainnya, serta mempengaruhi habitat organisme air.

2.2.4 Salinitas

Salinitas mengukur konsentrasi garam terlarut dalam air. Meskipun dalam air tawar salinitas biasanya rendah, fluktuasi kecil bisa berdampak signifikan pada beberapa organisme. Salinitas yang tidak sesuai dapat menyebabkan stres osmotik pada organisme air, yang mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan mereka. Seperti pada penelitian Yolanda Y (2023), mendapatkan hasil parameter suhu, pH, dan salinitas saling mempengaruhi satu dengan yang lainnya. Perubahan salah satu parameter akan mempengaruhi parameter lainnya dan berdampak pada perubahan kualitas air [6].

2.2.5 Kekeruhan

Kekeruhan mengukur kejernihan air, yang dipengaruhi oleh partikel tersuspensi seperti lumpur, alga, dan bahan organik lainnya. Kekeruhan tinggi dapat mengurangi penetrasi cahaya, mengganggu fotosintesis tanaman air, dan dapat menandakan masalah kualitas air seperti polusi atau aktivitas biologis yang berlebihan.

2.2.6 Kandungan Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*, DO)

Oksigen terlarut merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas dan kesehatan ekosistem perairan. Memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kadar DO dan dampak dari kadar DO yang rendah adalah penting untuk konservasi dan

pengelolaan sumber daya air. Monitoring rutin dan pemeliharaan kadar oksigen yang memadai dapat membantu memastikan kelangsungan hidup organisme akuatik dan stabilitas ekosistem.

Kadar oksigen terlarut yang rendah (hipoksia) dapat berdampak negatif pada ekosistem perairan:

1. Stres dan Kematian Ikan: Ikan dan organisme lainnya mungkin mengalami stres atau mati jika kadar DO terlalu rendah.
2. Gangguan Ekosistem: Kadar DO yang rendah dapat menyebabkan perubahan dalam komunitas organisme, meningkatkan dominasi organisme yang toleran terhadap kondisi rendah oksigen.
3. Pembentukan Zona Mati: Area dengan kadar DO yang sangat rendah, dikenal sebagai zona mati, dapat terjadi di danau atau laut, di mana kehidupan akuatik sangat terbatas atau tidak ada sama sekali.

2.2.7 Kandungan Amonia (NH₃) dan Nitrit (NO₂)

Amonia dan nitrit adalah produk sampingan dari dekomposisi bahan organik dan limbah ikan. Kedua senyawa ini sangat toksik bagi ikan dan organisme air lainnya, bahkan dalam konsentrasi rendah.

2.2.8 *Total Dissolved Solids* (TDS)

TDS mengukur total konsentrasi zat padat terlarut dalam air, termasuk mineral, garam, dan zat organik. Tingkat TDS yang terlalu tinggi atau rendah dapat mempengaruhi kesehatan organisme air dan dapat menjadi indikator kualitas air secara keseluruhan. Kualitas air mempengaruhi kehidupan dan perkembangan pada mikroorganismes air. Penelitian yang dilakukan telah mendapatkan hasil bahwa

setiap hewan memiliki kadar TDS yang berbeda-beda misalnya pada hewan lobster TDS yang baik dalam budidaya lobster air tawar adalah < 100 [7].

2.3. Sensor dalam Sistem Monitoring Kualitas Air

2.3.1 Sensor pH

Digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air. Alat ukur manual yang digunakan untuk mengukur kadar pH air yaitu pH meter. Pada saat ini, alat yang dapat mengukur nilai pH atau tingkat keasaman air adalah *colorimeter*, pH indikator dan pH meter [8].

2.3.2 Sensor Suhu:

Sensor suhu adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur suhu melalui perubahan fisik yang terkait dengan perubahan suhu. Sensor suhu digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari industri, medis, elektronik, hingga lingkungan.

a. Prinsip Kerja Sensor Suhu:

1. Termokopel

Termokopel bekerja berdasarkan efek Seebeck, yang menyatakan bahwa tegangan listrik dihasilkan ketika dua logam berbeda yang disambung membentuk sirkuit dan titik sambungan berada pada suhu yang berbeda.

Keunggulannya yaitu rentang suhu yang luas, respons cepat, dan kemampuan untuk bertahan dalam lingkungan yang keras. Sedangkan akurasi moderat dan membutuhkan kalibrasi untuk aplikasi presisi tinggi.

2. Termistor

Termistor adalah resistor yang resistansinya berubah secara signifikan dengan perubahan suhu. Ada dua jenis utama: NTC (Negative Temperature Coefficient) yang resistansinya menurun dengan kenaikan suhu, dan PTC (Positive Temperature Coefficient) yang resistansinya meningkat dengan kenaikan suhu. Keunggulannya yaitu sensitivitas tinggi, biaya rendah, dan ukuran kecil. Sedangkan rentang suhu yang terbatas dan perubahan resistansi tidak linear.

3. RTD (*Resistance Temperature Detector*)

RTD mengukur suhu dengan perubahan resistansi bahan, biasanya platinum, yang memiliki hubungan hampir linear dengan suhu. Keunggulannya yaitu akurasi tinggi, stabilitas jangka panjang, dan hubungan linear antara resistansi dan suhu. Kelemahannya yaitu lebih mahal dibandingkan termokopel dan termistor, serta respons waktu lebih lambat.

4. Sensor Inframerah (IR)

Prinsip Kerja: Sensor inframerah mengukur radiasi inframerah yang dipancarkan oleh objek. Menggunakan hukum radiasi Planck, sensor IR dapat menentukan suhu objek tanpa kontak fisik.

Keunggulan: Mengukur suhu dari jarak jauh, respons cepat, dan tidak memerlukan kontak fisik.

Kelemahan: Dipengaruhi oleh emisi objek dan kondisi lingkungan seperti debu dan kelembaban. Digunakan untuk mengukur suhu air.

2.3.4 Sensor Ultrasonik:

Digunakan untuk mengukur ketinggian air berdasarkan waktu yang diperlukan gelombang ultrasonik untuk kembali setelah memantul dari permukaan

air. Sensor ultrasonik adalah perangkat yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi dan mengukur jarak atau kecepatan objek. Gelombang ultrasonik adalah gelombang suara dengan frekuensi di atas ambang pendengaran manusia, yaitu lebih dari 20 kHz.

2.3.5 Sensor Salinitas:

Sensor salinitas adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi garam dalam suatu larutan, biasanya air. Salinitas adalah parameter penting dalam berbagai aplikasi, termasuk oceanografi, akuakultur, pengolahan air, dan lingkungan.

2.4. Pengaruh Kondisi Lingkungan terhadap Kualitas Air

Kondisi lingkungan seperti air keruh, air hangat, dan air bergelombang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran sensor:

2.4.1 Air Keruh

Kekeruhan air adalah ukuran dari sejauh mana partikel-partikel tersuspensi dalam air menghamburkan cahaya yang melewatinya. Partikel-partikel ini bisa berupa lumpur, tanah liat, mikroorganisme, bahan organik, dan bahan kimia. Kekeruhan adalah parameter penting dalam menentukan kualitas air tawar, karena dapat mempengaruhi ekosistem akuatik dan kesehatan manusia. Kekeruhan diukur dalam satuan *Nephelometric Turbidity Units* (NTU) atau *Formazin Turbidity Units* (FTU), yang menunjukkan sejauh mana cahaya dihamburkan oleh partikel-partikel dalam air. *Turbidity* atau kekeruhan air dapat disebabkan oleh clay pasir, zat organik dan anorganik yang halus, plankton dan mikroorganisme lainnya. Standar

kekeruhan air ditetapkan antara 5-25 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) [10], dan bila melebihi batas yang telah ditetapkan akan menyebabkan :

- a. Mengganggu estetika
- b. Mengurangi efektivitas desinfeksi air

2.4.2 Air Hangat

Suhu air merupakan parameter penting yang mempengaruhi berbagai aspek ekosistem akuatik. Perubahan suhu air, terutama peningkatan suhu atau air hangat, dapat memiliki dampak signifikan pada kualitas air, kehidupan akuatik, dan proses biokimia dalam badan air. Perubahan suhu berdampak besar pada konsentrasi polutan pada badan air [11]

2.4.3 Air Bergelombang

Gelombang air adalah gerakan berosilasi dari permukaan air yang disebabkan oleh angin, arus, aktivitas seismik, atau perubahan tekanan atmosfer. Gelombang dapat memiliki dampak signifikan pada kualitas air dan ekosistem akuatik. Pengaruhnya mencakup proses fisik, kimia, dan biologi di perairan.

2.5. Pengujian Sistem

Pada hasil rancangan dilakukan pengujian dan analisa yang bertujuan untuk mengetahui fungsi dari sistem yang telah dibuat, apakah sistem tersebut telah berfungsi sesuai dengan yang diharapkan ataupun tidak. Pengujian terhadap sistem yang telah dirancang akan menggunakan pengujian Black Box. Black box testing merupakan pengujian yang berorientasi pada fungsionalitas yaitu perilaku dari perangkat lunak atas input yang diberikan pengguna sehingga mendapatkan/menghasilkan output yang diinginkan tanpa melihat proses internal atau kode program yang dieksekusi oleh perangkat [12]. Pengujian Perangkat Lunak adalah

proses mengevaluasi program perangkat lunak untuk memastikan bahwa program tersebut menjalankan tujuan yang dimaksudkan. Pengujian perangkat lunak memverifikasi keamanan, keandalan, dan pengoperasian perangkat lunak yang benar.

2.6. Kalibrasi dan Validasi Sensor

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh suatu alat ukur atau sistem ukur, atau nilai yang diwakili oleh benda ukur, dan nilai yang telah diketahui yang berkaitan besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. Tujuan utama kalibrasi adalah mencapai ketertelusuran pengukuran. Hasil pengukuran dapat dikaitkan/ditelusur sampai ke standar yang lebih tinggi/teliti (standar primer nasional dan internasional), melalui rangkaian perbandingan yang tak terputus. Dengan melakukan kalibrasi, bisa diketahui seberapa jauh perbedaan (penyimpangan) antara harga benar dengan harga yang ditunjukkan oleh alat ukur [13]. Validasi adalah proses verifikasi bahwa sensor berfungsi dengan benar dalam kondisi nyata. Keduanya penting untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan oleh sistem monitoring adalah akurat dan dapat diandalkan.

2.7. Akurasi dan Keandalan Pengukuran

Akurasi merujuk pada seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai yang sebenarnya, sementara keandalan merujuk pada konsistensi hasil pengukuran dari waktu ke waktu. Dalam konteks sistem monitoring kualitas air berbasis IoT, pengujian akurasi dan keandalan sangat penting untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan valid dan dapat digunakan untuk pengambilan keputusan.

Untuk menentukan tingkat keakurasian data dan keandalannya menggunakan rumus rumus berikut:

2.7.1 Kesalahan Pengukuran (Error)

Kesalahan pengukuran untuk setiap sensor dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kesalahan (\%)} = \frac{\text{Nilai Aktual} - \text{Nilai Terukur}}{\text{Nilai Aktual}} \times 100\% \quad (2.1)$$

2.7.2 Rata-rata Kesalahan Pengukuran (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)

Untuk mendapatkan rata-rata kesalahan pengukuran dari seluruh data, gunakan rumus:

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_i - P_i}{A_i} \right| \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana:

A_i adalah nilai prediksi untuk observasi ke- i .

P_i adalah nilai sebenarnya untuk observasi ke- i .

n adalah jumlah total observasi atau sampel.

2.7.3 Rata rata Selisih

$$\frac{\sum (\text{Selisih})}{\text{Jumlah Sampel}} \quad (2.3)$$

Dimana:

$\sum (\text{Selisih})$ adalah jumlah selisih dari sampel

2.7.4 Standar Deviasi Sampel (*Standard Deviation*,SD)

Standard deviasi digunakan untuk mengukur seberapa jauh data menyebar dari nilai rata-rata:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.4)$$

Dimana

s adalah standar deviasi sampel

n adalah jumlah observai dalam sampel

x_i adalah nilai dari observasi ke- i

\bar{x} adalah nilai rata rata dari observasi dalam sampel.

2.7.5 Regresi Linear

$$Y = a + bX \quad (2.5)$$

Dimana:

Y = garis regresi/ variable response

a = konstanta (intersep), perpotongan dengan sumbu vertikal

b = konstanta regresi (*slope*)

X = variabel bebas/ *predictor*

Koefisien:

$$b_1 = \frac{\sum(X_i Y_i) - nXY}{\sum(X_i^2) - nX^2}$$

$$b_0 = Y - b_1 X$$

4.4.4 Kesimpulan Kinerja Sensor

Untuk menarik kesimpulan mengenai kinerja sensor, kita dapat menggunakan kriteria berikut:

- Akurasi: Diukur dengan MAPE. MAPE yang rendah menunjukkan akurasi tinggi.
- Presisi: Diukur dengan SD. SD yang rendah menunjukkan presisi tinggi.
- Konsistensi: Analisis kesalahan pengukuran di berbagai kondisi lingkungan menunjukkan konsistensi sensor.

2.8. Stabilitas Sistem

Kestabilan sistem daya dapat didefinisikan sebagai sifat sistem yang bergerak serempak untuk memberikan responnya terhadap gangguan dan mengembalikan kembali ke keadaan normal [14]. Dengan kata lain, stabilitas sistem daya adalah kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk menjaga sistem dalam keadaan sinkron dan seimbang. Usaha untuk mengembalikan kesinkronan kondisi operasi yang baru disebut periode transien. Kriteria utama stabilitas adalah bagaimana mesin-mesin mempertahankan sinkronisasi pada akhir periode transien.

2.9. Hipotesis Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, perlu dirumuskan hipotesis yang merupakan dasar atau landasan dalam proses penelitian dan pengumpulan data. Selain itu hipotesis juga merupakan kesimpulan atau jawaban sementara terhadap masalah yang diteliti. Berdasarkan uraian diatas, hipotesis penelitian ini adalah:

1. Tidak ada perbedaan signifikan antara hasil pengukuran parameter-parameter kualitas air oleh sistem monitoring berbasis IoT dengan standar pengukuran konvensional.

2. Variasi suhu air tidak berpengaruh signifikan terhadap akurasi dan kehandalan pengukuran sistem monitoring kualitas air berbasis IoT

