TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM IOT *MONITORING* MULTI-PARAMETER KUALITAS AIR (PH, AMONIA, SUHU) PADA BUDIDAYA IKAN NILA SISTEM BIOFLOK

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh :

RICO ARDIANSYAH
2207220005

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama	:	Rico Ardiansyah
NPM	:	2207220005
Program Studi	:	Teknik Elektro
Judul Skripsi	:	Rancang Bangun Sistem Iot *Monitoring* Multi-Parameter Kualitas Air (Ph, Amonia, Suhu) Pada Budidaya Ikan Nila Sistem Bioflok
Bidang ilmu	:	Sistem Kendali

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 27 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dr. Rimbawati S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji	Dosen Pembanding II / Peguji
Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd	Rahmat Fauzi Siregar, S.T., M.T

Program Studi Teknik Elektro

Ketua,

Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Rico Ardiansyah
Tempat /Tanggal Lahir	: Sonomartani, 16 Desember 2003
NPM	: 2207220005
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

"Rancang Bangun Sistem Iot *Monitoring* Multi-Parameter Kualitas Air (Ph, Amonia, Suhu) Pada Budidaya Ikan Nila Sistem Bioflok",

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 27 Agustus 2026

Saya yang menyatakan,



Rico Ardiansyah

ABSTRAK

Kualitas air merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan budidaya. Perubahan parameter kualitas air, seperti derajat keasaman (pH), suhu, dan konsentrasi amonia (NH_3), dapat menyebabkan penurunan kesehatan ikan bahkan meningkatkan risiko kematian apabila tidak terpantau secara cepat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *monitoring* kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau parameter pH, suhu, dan estimasi konsentrasi amonia secara *real-time*. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, sensor MQ-135 untuk mendeteksi perubahan konsentrasi amonia, sensor pH 4502C untuk mengukur derajat keasaman air, sensor suhu DS18B20 untuk mengukur temperatur air, serta modul ADS1115 sebagai konverter analog-ke-digital beresolusi 16-bit. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 1602 I2C dan dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke Dashboard IoT Kita menggunakan protokol MQTT. Kalibrasi sensor MQ-135 dan sensor pH dilakukan menggunakan metode regresi linear untuk memperoleh persamaan konversi yang diimplementasikan pada program ESP32. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9635 untuk sensor MQ-135 dan 0,9982 untuk sensor pH, yang menunjukkan hubungan linear yang sangat kuat terhadap data referensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring parameter kualitas air secara *real-time*, menampilkan data pada *Dashboard*, serta mengaktifkan *Buzzer* sebagai peringatan dini ketika salah satu parameter berada di luar batas aman. Nilai konsentrasi NH_3 yang dihasilkan merupakan estimasi berdasarkan model regresi linear sehingga sistem lebih tepat digunakan sebagai alat monitoring dan *early warning system* dibandingkan sebagai instrumen pengukuran laboratorium.

Kata kunci: *Internet of Things*, ESP32, kualitas air, MQ-135, sensor pH, DS18B20, regresi linear, IoT Kita

ABSTRACT

Water quality is one of the primary factors affecting the growth and survival of cultured fish. Changes in water quality parameters, such as pH, temperature, and ammonia (NH_3) concentration, can reduce fish health and increase the risk of mortality if not monitored promptly. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based water quality monitoring system capable of monitoring pH, temperature, and estimated ammonia concentration in real time. The system employs an ESP32 microcontroller as the main controller, an MQ-135 sensor to detect changes in ammonia concentration, a pH 4502C sensor to measure water acidity, a DS18B20 sensor to measure water temperature, and an ADS1115 module as a 16-bit analog-to-digital converter. Measurement data are displayed on a 1602 I2C LCD and transmitted via Wi-Fi to the IoT Kita Dashboard using the MQTT protocol. The MQ-135 and pH sensors were calibrated using the linear regression method to obtain conversion equations implemented in the ESP32 program. The calibration results produced coefficients of determination (R^2) of 0.9635 for the MQ-135 sensor and 0,9982 for the pH sensor, indicating a very strong linear relationship with the reference data. The testing results demonstrate that the developed system is capable of monitoring water quality parameters in real time, displaying data on the Dashboard, and activating a Buzzer as an early warning when any parameter exceeds the predefined safe threshold. The NH_3 concentration presented by the system represents an estimated value based on the linear regression model; therefore, the system is more suitable as a monitoring and early warning system rather than a laboratory-grade ammonia measuring instrument.

***Keywords**: Internet of Things, ESP32, water quality monitoring, MQ-135, pH sensor, DS18B20, linear regression, IoT Kita.*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Iot *Monitoring* Multi-Parameter Kualitas Air (Ph, Amonia, Suhu) Pada Budidaya Ikan Nila Sistem Bioflok" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Dosen Pembimbing I, Ibu Dr. Rimbawati, S.T., M.T., yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Dosen Pembanding II dan Penguji, Bapak Rahmat Fauzi Siregar, S.T., M.T., yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ketua Program Studi Teknik Elektro serta Dosen Pembanding I dan Penguji, Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T, M.Pd, yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T, M.Sc, Ph.D., yang telah memberikan dukungan serta fasilitas akademik kepada penulis selama menempuh pendidikan dan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikelektroan kepada penulis.

6. Orang tua penulis Bapak Slamet Edi Wibowo dan Ibu Sarilah yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan dan motivasi kepada penulis dalam setiap langkah perjalanan pendidikan, segala pengorbanan, kesabaran serta usaha yang telah diberikan dalam membesarkan, mendidik, dan membiayai studi penulis menjadi kekuatan bagi penulis untuk terus berusaha hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini..
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Saudara Penulis Tedi Setyawan dan Riki Wibowo, yang senantiasa memberikan dukungan, perhatian, dan semangat dalam perjalanan pendidikan penulis. Terima kasih atas kebersamaan, bantuan, serta segala bentuk dukungan yang telah diberikan, baik dalam hal akademik maupun dalam menghadapi berbagai proses dan tantangan selama penyusunan tugas akhir ini.
9. Nesya Dwi Saputri, yang senantiasa mendampingi penulis dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, memberikan dukungan, semangat, perhatian dan motivasi, serta menjadi tempat berbagi cerita dan keluh kesah selama perjalanan studi.
10. Teman-teman penulis Ryan Alhadian, Gilang Asiari, Edo Gunawan, M.Riflan Izzati dan teman kelas A1 angkatan 2022 lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Elektro.

Medan, 27 Agustus 2026



Rico Ardiansyah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... **ii**
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ..... **iii**
ABSTRAK ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR GAMBAR ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xi**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Ruang Lingkup 2
1.5 Manfaat 3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan 5
2.2 Landasan Teori 9
2.2.1 *Internet of Things* (IoT) 9
2.2.2 Bioflok 11
2.2.3 ESP 32 DEVKIT 13
2.2.4 Sensor Gas MQ-135 15
2.2.5 Sensor Ph-4502c 18
2.2.6 Sensor Suhu DS18B20 21
2.2.7 IoT Kita 23
2.2.8 Buzzer 25
2.2.9 LCD 1602 12 C 26
2.2.10 *Power Supply* 28
2.2.11 Regresi Linier 29
2.2.12 Modul ADS1115 31
2.2.13 Modul YX850 32
2.2.14 Baterai *Lithium Polymer* 33
2.2.15 Modul IP5306 34
BAB 3 METODE PENELITIAN **36**
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 36
3.1.1 Tempat Penelitian 36
3.1.2 Waktu Penelitian 36
3.2 Alat dan Bahan Penelitian 37
3.3 Perancangan Sistem 38

3.3.1 Diagram Blok Sistem 38
3.3.2 Alir Perancangan Sistem 39
3.3.3 Rancangan Alat Penelitian 40
3.3.4 Prosedur Penelitian 44
3.3.5 Bagan Alir Penelitian 51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 53
4.1 Hasil Perancangan Sistem 53
4.1.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras 54
4.1.2 Hasil Perancangan *Dashboard* IoT Kita 58
4.2 Kalibrasi Sensor 59
4.2.1 Kalibrasi Sensor MQ-135 60
4.2.2 Kalibrasi Sensor Ph 4502c 65
4.3 Pengujian Sensor 69
4.3.1 Pengujian Sensor MQ-135 70
4.3.2 Pengujian Sensor pH 4502C 74
4.3.3 Pengujian Sensor Suhu DS18B20 80
4.4 Pengujian Fungsional Sistem 85
4.4.1 Pengujian ESP32 85
4.4.2 Pengujian LCD 1602 12C 87
4.4.3 Pengujian *Dashboard* IoT Kita 88
4.4.4 Pengujian Sistem Peringatan dini (*Buzzer*) 89
4.4.5 Pengujian Sistem *Backup* Baterai 92
4.5 Pembahasan Hasil Penelitian 95
BAB 5 PENUTUP 98
5.1 Kesimpulan 98
5.2 Saran 99
DAFTAR PUSTAKA 101
LAMPIRAN 105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *Internet of Things* (IoT) 9
Gambar 2. 2 Kolam Bioflok 11
Gambar 2. 3 ESP 32 DevKit 13
Gambar 2. 4 Sensor Gas MQ-135 15
Gambar 2. 5 Kurva *Datasheet* Sensitivitas MQ-135 Terhadap Jenis Gas 17
Gambar 2. 6 Sensor pH-4502c 18
Gambar 2. 7 Sensor Suhu DS18B20 21
Gambar 2. 8 IoT Kita 23
Gambar 2. 9 *Buzzer* 25
Gambar 2. 10 LCD 1602 12C 27
Gambar 2. 11 *Power Supply* 28
Gambar 2. 12 Modul ADS1115 31
Gambar 2. 13 modul YX850 33
Gambar 2. 14 Baterai Li-Po 33
Gambar 2. 15 Modul IP5306 34
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem 38
Gambar 3. 2 *Flowchart* Alir Perancangan Sistem 39
Gambar 3. 3 Rancangan Alat Penelitian 40
Gambar 3. 4 *Flowchart* Alir Penelitian 51
Gambar 4. 1 Keseluruhan Sistem *Monitoring* Kualitas Air 54
Gambar 4. 2 *Wiring* Diagram Sistem 57
Gambar 4. 3 Tampilan *Dashboard* IoT Kita 58
Gambar 4. 4 Konversi Nilai ADC ADS1115 dari Sensor menjadi Tegangan 60
Gambar 4. 5 Code Mencari Nilai Ro 61
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Konsentrasi NH3 terhadap RS/RO 62
Gambar 4. 7 Persamaan Regresi Linear pada Program ESP32 64
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan pH terhadap Tegangan Sensor 66
Gambar 4. 9 Implementasi Regresi Linier Sensor pH pada ESP32 67
Gambar 4. 10 Proses Pengujian Sensor MQ-135 70
Gambar 4. 11 Grafik Presentase *Error* Sensor MQ-135 72
Gambar 4. 12 Grafik Tingkat Akurasi Sensor MQ-135 73
Gambar 4. 13 Proses Pengujian Sensor pH 4502C 75
Gambar 4. 14 Grafik Presentase *Error* Sensor pH4502C 77
Gambar 4. 15 Grafik Tingkat Akurasi Sensor pH4502C 78
Gambar 4. 16 Proses Pengujian Sensor DS18B20 80
Gambar 4. 17 Grafik Presentase *Error* Sensor DS18B20 82
Gambar 4. 18 Grafik Tingkat Akurasi Sensor Suhu DS18B20 83
Gambar 4. 19 proses inisialisasi sistem 86
Gambar 4. 20 Tampilan LCD saat sistem melakukan *monitoring* 87
Gambar 4. 21 Tampilan *Dashboard* IoT Kita saat menerima data dari ESP32. 89
Gambar 4. 22 sistem mendeteksi parameter berada di luar batas aman 91
Gambar 4. 23 Sistem Menggunakan Catu Daya dari Baterai 94

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi ESP 32 DevKit 14
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor pH-4502c 20
Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor Suhu DS18B20 22
Tabel 2. 4 Spesifikasi LCD 1602 12C 26
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian 36
Tabel 3. 2 Daftar Alat Penelitian 37
Tabel 3. 3 Daftar Bahan Penelitian 37
Tabel 4. 1 Identifikasi Komponen Perangkat Keras 57
Tabel 4. 2 Data Hasil Kalibrasi Sensor MQ-135 62
Tabel 4. 3 Data Kalibrasi Sensor pH 65
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sensor MQ-135 70
Tabel 4. 5 Data Pengujian Presisi Sensor 73
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Sensor Ph4502c 75
Tabel 4. 7 Data Pengujian Presisi Sensor pH 4502c 79
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Sensor Suhu DS18B20 81
Tabel 4. 9 Data Pengujian Presisi Sensor DS18B20 84
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian *Buzzer* 91
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Backup Baterai 93

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa dekade terakhir, akuakultur di Indonesia berkembang pesat sebagai salah satu sektor yang berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan protein hewani masyarakat. Salah satu metode budidaya yang kini semakin populer adalah sistem bioflok, yang menawarkan keunggulan dalam efisiensi penggunaan air dan pemanfaatan limbah organik menjadi biomassa yang bermanfaat. Sistem ini dinilai ramah lingkungan dan mendukung keberlanjutan produksi ikan di tengah keterbatasan lahan serta semakin tingginya tuntutan produktivitas.

Pada pelaksanaannya, budidaya ikan nila dengan sistem bioflok menghadapi sejumlah tantangan, terutama terkait kualitas air kolam yang harus dijaga secara ketat. Salah satu permasalahan kritis adalah akumulasi amonia yang dapat muncul akibat proses metabolisme ikan dan penguraian bahan organik, di mana kadar amonia yang tinggi berisiko menyebabkan stres hingga kematian massal pada ikan. Selain amonia, parameter pH dan suhu air juga harus dimonitor secara konsisten agar lingkungan kolam tetap optimal untuk pertumbuhan ikan nila.

Seiring perkembangan teknologi, pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) mulai diterapkan dalam sistem *monitoring* akuakultur. Penelitian ini menggunakan metode integrasi sensor pH, suhu, dan sensor amonia (MQ-135) pada sistem berbasis IoT yang terkoneksi secara *real-time*. Metode ini juga dilengkapi kalibrasi sensor amonia menggunakan regresi linier terhadap hasil kit laboratorium, sehingga tingkat akurasi pengukuran dapat ditingkatkan dan sistem mampu mendeteksi perubahan kualitas air secara cepat.

Penerapan sistem IoT *monitoring* multi-parameter ini diharapkan menjadi solusi efektif untuk mengantisipasi gangguan kualitas air di kolam bioflok. Dengan kemampuan mendeteksi perubahan parameter secara otomatis serta pemberian peringatan dini ketika nilai parameter mendekati ambang batas berbahaya, sistem ini memungkinkan tindakan responsif sebelum terjadi kerugian yang lebih besar. Pengawasan berbasis IoT juga memudahkan petani ikan dalam memantau kondisi kolam tanpa harus melakukan pengecekan manual secara berkala.

Dengan demikian, pengembangan sistem *monitoring* kualitas air berbasis IoT merupakan terobosan yang signifikan dalam mendukung keberlanjutan dan produktivitas budidaya ikan nila sistem bioflok. Selain meningkatkan ketahanan kolam terhadap risiko lingkungan, solusi ini juga memperkuat efektivitas manajemen dan potensi hasil produksi perikanan di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini dilakukan untuk menjawab beberapa pertanyaan berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem IoT untuk pemantauan otomatis multi-parameter kualitas air (pH, amonia, dan suhu) dalam budidaya ikan nila menggunakan metode bioflok?
2. Bagaimana tingkat akurasi dan presisi sensor dalam mengukur parameter kualitas air (pH, amonia, dan suhu) pada budidaya ikan nila menggunakan sistem bioflok?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengembangkan sistem *monitoring* otomatis berbasis IoT untuk mengukur parameter kualitas air (pH, amonia, dan suhu) pada budidaya ikan nila sistem bioflok.
2. Menganalisis tingkat akurasi dan presisi sensor dalam mengukur parameter kualitas air (pH, amonia, dan suhu) pada budidaya ikan nila menggunakan sistem bioflok

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini mencakup aspek-aspek yang secara khusus menjadi fokus kajian, sehingga pembahasan tetap terarah dan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun cakupan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian berfokus pada rancang bangun sistem IoT untuk *monitoring* kualitas air pada budidaya ikan nila dengan sistem bioflok.

2. Parameter kualitas air yang dipantau hanya meliputi pH, suhu, dan amonia.
3. Sensor yang digunakan dibatasi pada sensor pH 4502C, sensor suhu DS18B20, dan sensor Gas MQ-135, tanpa menambahkan parameter lain seperti DO (*dissolved oxygen*), kekeruhan, TDS, nitrit/nitrat, maupun salinitas.
4. Sistem dirancang untuk melakukan pemantauan secara *real-time* dan memberikan peringatan dini ketika nilai parameter melewati ambang batas yang telah ditentukan, namun penelitian ini tidak membahas aktuasi otomatis (misalnya pengendalian aerator, *dosing* bahan kimia, atau pergantian air otomatis).
5. Kalibrasi sensor amonia MQ-135 dilakukan menggunakan pendekatan regresi linier dengan pembanding tes kit Amonia, dan pembahasan akurasi dibatasi pada hasil kalibrasi tersebut.
6. Pengujian sistem dibatasi pada skenario pengujian prototipe dan kondisi kolam penelitian yang tersedia, sehingga hasil belum dapat digeneralisasi untuk semua skala kolam dan kondisi budidaya bioflok

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

   Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang akuakultur dan teknologi *Internet of Things* (IoT), khususnya terkait penerapan sistem *monitoring* multi-parameter kualitas air (pH, suhu, dan amonia) pada budidaya ikan nila sistem bioflok. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan sistem *monitoring* kualitas air yang lebih akurat dan terintegrasi.
2. Manfaat Praktis

   Menyediakan solusi pemantauan kualitas air secara *real-time* yang dapat membantu petani ikan dan praktisi perikanan dalam menjaga stabilitas parameter lingkungan kolam bioflok. Dengan adanya peringatan dini, risiko stres dan kematian massal ikan akibat akumulasi amonia atau

fluktuasi pH dan suhu dapat diminimalkan, sehingga produktivitas budidaya dapat lebih terjaga.

3. Manfaat bagi Pengelolaan Budidaya

   Mempermudah pengawasan kondisi kolam tanpa harus melakukan pengecekan manual secara berkala, sehingga efisiensi waktu dan tenaga kerja meningkat. Sistem ini juga mendukung praktik budidaya yang lebih berkelanjutan dengan memanfaatkan teknologi untuk mengantisipasi gangguan kualitas air sejak dini.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian ini berfokus pada rancang bangun sistem *monitoring* kualitas air pada budidaya ikan nila sistem bioflok berbasis *Internet of Things* (IoT). Pada budidaya bioflok, perubahan kualitas air dapat berlangsung cepat akibat akumulasi bahan organik, sehingga *monitoring real-time* menjadi penting untuk mencegah kondisi ekstrem yang memicu stres dan kematian ikan. Karena itu, studi terdahulu yang relevan perlu ditinjau tidak hanya dari sisi sensor dan platform IoT, tetapi juga dari kelengkapan parameter, respons sistem, serta kesesuaian arsitektur untuk dipakai pembudidaya di lapangan.

Dalam konteks pengendalian kondisi fisik kolam, penggunaan teknologi otomatisasi menjadi sangat krusial untuk menjaga stabilitas parameter lingkungan. Hal ini sejalan dengan penelitian [1] yang mengembangkan sistem otomatisasi suhu berbasis ESP32 dan platform Thinger.io untuk menjaga rentang optimal 23–24°C pada kolam bioflok. Melalui penggunaan sensor DS18B20 dan heater, sistem tersebut terbukti meningkatkan *survival rate* dan produktivitas ikan nila dibandingkan metode konvensional. Namun, keterbatasan utama dari pendekatan ini adalah fokusnya yang masih tunggal pada suhu, sehingga belum memitigasi risiko dari parameter kritis lain seperti pH dan amonia yang sangat dinamis dalam ekosistem bioflok.

Urgensi *monitoring* parameter kimia air seperti pH dan kekeruhan juga menjadi pertimbangan penting bagi pembudidaya untuk menjamin kelangsungan hidup ikan. [2] merancang prototipe *monitoring* menggunakan Arduino Uno dengan sensor pH 4502C dan sensor *turbidity* yang dilengkapi aktuator otomatis berbasis *set point*. Meskipun pengujian pada miniatur kolam menunjukkan *Error* sensor yang kecil dan fungsi kendali yang berjalan baik, sistem ini belum menyasar kondisi spesifik bioflok yang kaya akan limbah organik. Celah inilah yang menjadi peluang bagi penelitian penulis untuk menghadirkan parameter yang lebih relevan dan spesifik bagi dinamika bioflok.

Selain pH, pemantauan amonia secara nirkabel melalui perangkat pintar merupakan kebutuhan mendesak untuk mempermudah pengawasan jarak jauh. [3]

mengintegrasikan sensor MQ-135 dan Arduino dengan Raspberry Pi sebagai *server* agar data dapat dimonitor melalui smartphone dengan pembaruan data setiap 10 detik. Walaupun sistem ini menawarkan kontrol otomatis dan manual yang responsif, penggunaan arsitektur berbasis Raspberry Pi dinilai penulis menambah kompleksitas dan biaya operasional bagi pembudidaya. Selain itu, potensi *overshoot* pada kontrol pH dalam studi tersebut menunjukkan bahwa aspek keamanan kontrol perlu diperkuat dalam sistem yang penulis kembangkan.

Kelemahan Raspberry Pi dari sisi efisiensi biaya mendorong penulis untuk mempertimbangkan mikrokontroler yang lebih praktis namun tetap andal dalam pengiriman data *real-time*. Sebagaimana ditunjukkan oleh [4], penggunaan NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Blynk terbukti mampu memonitor pH dan suhu secara efektif pada budidaya ikan mas koki. Temuan mereka mengonfirmasi bahwa kestabilan parameter memberikan kondisi terbaik bagi ikan, namun sistem tersebut masih memiliki keterbatasan karena belum mencakup parameter amonia yang sangat vital pada sistem intensif seperti bioflok. Hal ini memperkuat keputusan penulis untuk menggunakan arsitektur yang lebih bertenaga guna menangani multi-parameter secara simultan.

Efisiensi dalam deteksi perubahan kualitas air secara jarak jauh juga didorong oleh pemanfaatan platform visualisasi data yang mudah diakses. [5] menyoroti ketidakefisienan *monitoring* manual dan menawarkan solusi berupa prototipe Wemos D1 R2 yang terhubung ke platform ThingSpeak untuk visualisasi grafik pH secara *real-time*. Meskipun validasi menggunakan larutan *buffer* menunjukkan hasil yang akurat, fokus sistem yang hanya pada satu parameter menjadi titik lemah untuk kebutuhan budidaya yang kompleks. Penulis menilai bahwa integrasi multi-parameter adalah keharusan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih komprehensif di lapangan.

Di sisi lain, penerapan teknologi bioflok di masyarakat tidak hanya memerlukan perangkat teknis, tetapi juga kesiapan pengetahuan dan pendampingan yang intensif. [6] menekankan bahwa edukasi mengenai pengelolaan kualitas air adalah kunci efisiensi budidaya pada lahan terbatas. Namun, karena studi mereka lebih berfokus pada aspek sosialisasi dan pelatihan, terdapat celah besar dalam hal ketersediaan instrumen *monitoring* yang operasional. Penelitian penulis hadir untuk

mengisi *gap* tersebut dengan menyediakan rancangan perangkat *monitoring* yang tidak hanya canggih secara IoT, tetapi juga mudah diaplikasikan oleh pembudidaya yang telah mendapatkan pelatihan.

Kehadiran gas amonia dalam air merupakan ancaman serius yang dapat menyebabkan kematian massal jika tidak terdeteksi sejak dini. [7] mengeksplorasi pemanfaatan sensor MQ-135 untuk mengukur kadar amonia dan menyajikan datanya untuk evaluasi kondisi lingkungan. Meskipun hasil pengukuran tersebut dapat mendukung rekomendasi pengelolaan, konteks penggunaannya yang masih berada pada media udara menjadi catatan penting. Hal ini memberikan dasar bagi penulis untuk melakukan kalibrasi dan interpretasi yang lebih mendalam agar pembacaan sensor MQ-135 tetap relevan dan akurat saat diadaptasi ke dalam lingkungan perairan bioflok.

Logika pengendalian otomatis berdasarkan ambang batas amonia juga telah mulai dikembangkan untuk menjaga performa ternak melalui sistem kendali berbasis Arduino. [8] merancang alat pendeteksi amonia menggunakan sensor MQ-135 yang secara otomatis mengaktifkan aktuator untuk menekan emisi gas. Kendati sistem ini berhasil menurunkan kadar gas di udara secara signifikan, adaptasi konsep tersebut ke sistem bioflok memerlukan penyesuaian parameter dan batas aman yang berbeda. Penulis memandang perlunya metode validasi yang lebih spesifik untuk memastikan logika kontrol *on-off* tersebut bekerja dengan aman di lingkungan cair yang sensitif.

Integrasi seluruh parameter utama bioflok ke dalam satu sistem kendali otomatis merupakan puncak dari evolusi *monitoring* kualitas air saat ini. [9] membangun sistem IoT berbasis ESP32 yang memonitor suhu, pH, *turbidity*, TDS, hingga oksigen terlarut (DO) sekaligus mengendalikan aktuator secara otomatis. Meskipun sistem ini sangat komprehensif, kerentanan terhadap gangguan listrik menjadi masalah utama yang dapat menghentikan proses *monitoring*. Hal ini menginspirasi penulis untuk tidak hanya fokus pada kelengkapan sensor, tetapi juga mempertimbangkan aspek stabilitas sistem agar *monitoring* tetap kontinu di lingkungan lapangan.

Peningkatan akurasi pada penggunaan sensor berbiaya rendah menjadi kunci agar teknologi *monitoring* IoT dapat diterima oleh industri perikanan. [10]

membuktikan bahwa melalui pendekatan *simple linear regression* dan validasi alat profesional, akurasi sensor murah dapat ditingkatkan hingga rentang 76–97%. Meskipun fokus mereka lebih pada validasi akurasi ketimbang aktuasi kontrol, temuan ini sangat relevan dengan pendekatan penulis dalam meminimalisir *Error* pembacaan. Penulis berupaya mengadopsi prinsip kalibrasi yang ketat agar sistem tetap andal meskipun menggunakan komponen yang terjangkau.

Integrasi parameter fisik dan kimia secara simultan dalam satu platform pemantauan nirkabel menjadi solusi strategis untuk menghadapi era revolusi industri 4.0 di sektor akuakultur. Sebagaimana dipaparkan oleh [11], penggunaan mikrokontroler Arduino Uno yang dipadukan dengan modul ESP8266 memungkinkan transmisi data parameter pH, suhu, dan amonia (NH3) secara *real-time* ke perangkat Android. Dalam penelitian tersebut, sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi ambang aman amonia di bawah 0,5 ppm, sementara sensor DS18B20 dan *probe* pH digunakan untuk menjaga stabilitas ekosistem akuaponik. Meskipun sistem ini berhasil menyajikan data perbandingan yang akurat dengan literatur melalui proses kalibrasi yang ketat, implementasinya masih terbatas pada fungsi *monitoring* tanpa adanya aktuator otomatis untuk tindakan koreksi mandiri. Hal ini memperkuat urgensi penelitian penulis untuk tidak hanya berhenti pada tahap pemantauan, tetapi juga mengintegrasikan sistem kendali responsif guna memitigasi fluktuasi parameter kualitas air secara otomatis di lapangan.

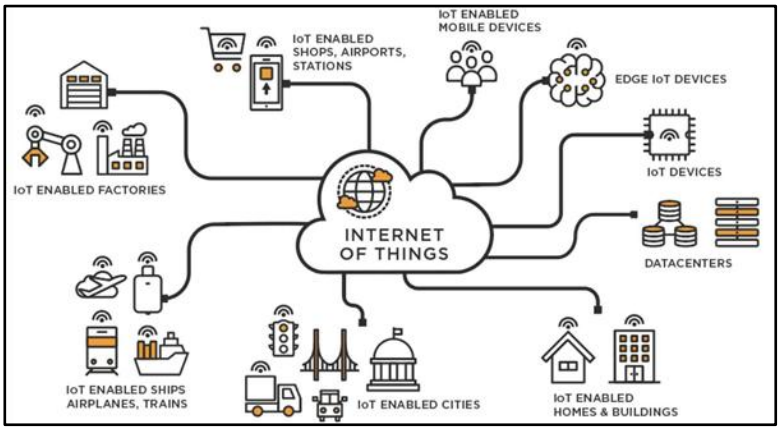
Aspek kemudahan antarmuka dan stabilitas koneksi cloud juga menjadi variabel penentu dalam keberhasilan implementasi sistem kontrol berbasis nirkabel. Penelitian oleh Ramdan dkk. (2022) mendemonstrasikan efektivitas penggunaan platform Iot Kita *cloud* yang terintegrasi dengan mikrokontroler Wemos D1 Mini untuk mengendalikan aktuator secara *real-time*. Keunggulan utama dari penggunaan Iot Kita *cloud* dalam studi tersebut adalah kemampuannya untuk mendukung operasional multi-perangkat melalui penggunaan cloud token yang sama, sehingga pemantauan dan kendali dapat dilakukan oleh lebih dari satu pengguna secara bersamaan tanpa memerlukan konfigurasi web lokal yang rumit. Meskipun fokus penelitian mereka adalah pada kendali lampu dan motor servo, prinsip arsitektur cloud ini memberikan landasan yang kuat bagi penulis untuk mengembangkan sistem *monitoring* bioflok yang responsif. Penulis memandang

bahwa penggunaan Iot Kita cloud dapat meminimalisir kendali manual yang tidak praktis, sekaligus menyediakan sistem notifikasi pada aplikasi smartphone yang sangat dibutuhkan untuk memantau status kritis parameter air secara instan di lapangan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan perangkat fisik (benda) ke jaringan internet agar perangkat tersebut dapat mengirim, menerima, dan bertukar data secara otomatis menggunakan dukungan sensor serta konektivitas jaringan. IoT pada dasarnya memungkinkan proses pemantauan (*monitoring*) dan pengendalian (*controlling*) dilakukan dari jarak jauh karena data dari objek dapat dikirimkan ke sistem/aplikasi yang dapat diakses pengguna secara *real time*[12].



Gambar 2. 1 *Internet of Things (IoT)*

Pada konteks pemantauan kualitas air budidaya (misalnya kolam bioflok), IoT dapat digunakan untuk mengukur beberapa parameter secara kontinu seperti suhu, pH, *dissolved oxygen* (DO), *total dissolved solids* (TDS), *turbidity,* serta parameter lain sesuai kebutuhan, kemudian menampilkan data tersebut pada *Dashboard* atau aplikasi mobile. Sistem IoT juga dapat dilengkapi mekanisme notifikasi dan aktuator (misalnya *relay* yang mengaktifkan *heater*/pompa/aerator) ketika nilai parameter berada di luar ambang batas yang telah ditentukan sehingga proses pengelolaan kolam lebih cepat dan responsif [9]

Secara umum, arsitektur sistem IoT terdiri dari beberapa komponen utama berikut.

1. Perangkat akuisisi data (sensor): berfungsi membaca kondisi lingkungan/objek (contoh: DS18B20 untuk suhu dan pH-4502C untuk pH) sebagai data masukan sistem.
2. Mikrokontroler: berperan sebagai pusat pemrosesan yang membaca data sensor, melakukan pengolahan (misalnya *filtering* atau kalibrasi), serta menyiapkan data untuk dikirimkan melalui jaringan.
3. Konektivitas jaringan: media komunikasi (umumnya Wi-Fi) yang digunakan mikrokontroler untuk mengirimkan data menuju *server*/platform IoT.
4. *Platform*/aplikasi: layanan untuk penyimpanan, visualisasi data, dan pemberian peringatan (contoh implementasi menggunakan aplikasi *Blynk* untuk *monitoring real-time*).
5. Aktuator/kontrol (opsional): perangkat keluaran seperti pompa, *heater*, atau air *pump* yang dikendalikan otomatis melalui *relay* berdasarkan kondisi parameter.

IoT memiliki karakteristik "selalu terhubung" (*connected*), mampu mengirimkan data secara periodik atau *event-based* (misalnya ketika parameter melewati ambang), dan mendukung akses multi-perangkat (*smartphone*/PC) sehingga *monitoring* dapat dilakukan kapan saja. Pada sistem bioflok, karakteristik ini penting karena kondisi air bisa berubah cepat, sehingga deteksi dini dan respons cepat akan lebih mudah dicapai dibanding pengukuran manual yang jarang.

Alur kerja IoT umumnya dimulai dari pembacaan sensor, lalu data dikonversi menjadi satuan fisik (misalnya °C, pH, mg/L), kemudian dikirim melalui jaringan ke platform untuk ditampilkan dalam bentuk angka, grafik, serta notifikasi. Pada implementasi tertentu, ketika terjadi deviasi dari batas yang ditentukan, sistem dapat mengaktifkan aktuator secara otomatis (misalnya menyalakan *heater* ketika suhu turun atau menyalakan air *pump* saat DO turun) melalui modul *relay*.

Penerapan IoT sangat bergantung pada ketersediaan listrik dan konektivitas jaringan, gangguan daya dapat menyebabkan pemantauan/kontrol tidak berjalan kontinu[13]. Selain itu, keandalan sistem juga dipengaruhi oleh akurasi dan

stabilitas sensor, sehingga kalibrasi dan pemeliharaan sensor menjadi aspek penting agar data yang dikirim benar-benar merepresentasikan kondisi kolam [14].

Pada sistem bioflok, IoT mendukung pemantauan banyak parameter penting dalam satu waktu dan memungkinkan tindakan korektif otomatis ketika kondisi keluar dari kisaran yang diinginkan, sehingga membantu menjaga stabilitas lingkungan budidaya[10]. Dengan demikian, IoT dapat berperan sebagai penghubung antara kondisi lapangan (air kolam), proses komputasi (mikrokontroler + logika), serta tindakan perbaikan (aktuator), yang pada akhirnya mendukung produktivitas dan keberlanjutan budidaya.

2.2.2 Bioflok

Bioflok (*Biofloc Technology*/BFT) merupakan teknologi yang memanfaatkan mikroorganisme untuk meningkatkan kualitas air dan efisiensi pakan, sementara pengendalian suhu yang optimal sangat penting untuk mendukung pertumbuhan ikan nila [1]. Sistem ini umumnya menerapkan pertukaran air rendah (*low water exchange*) sehingga lebih hemat air dan cocok untuk budidaya di lahan terbatas.

Untuk skala rumahan, bioflok menarik karena memungkinkan intensifikasi (jumlah ikan per volume lebih tinggi) asalkan aerasi dan pemantauan kualitas air disiplin. Kunci suksesnya ada pada kestabilan proses biologis di kolam (flok "hidup"), sehingga kesalahan manajemen (mis. listrik padam atau *overfeeding*) cenderung berdampak lebih cepat dibanding sistem konvensional yang padat tebar lebih rendah.[6]



Gambar 2. 2 Kolam Bioflok

Flok terbentuk ketika air kolam kaya bahan organik (sisa pakan, feses, mikroalga, bakteri) lalu terus diaerasi sehingga partikel-partikel halus saling

menggumpal menjadi agregat (flok) yang tersuspensi. Di dalam flok, populasi mikroba (terutama bakteri heterotrof) memanfaatkan nitrogen terlarut dan bahan organik sebagai sumber nutrien untuk tumbuh, sehingga sebagian limbah berubah menjadi biomassa mikroba, bukan menumpuk sebagai senyawa beracun.

Pada praktik bioflok, pembentukan flok biasanya "dipacu" dengan menjaga kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroba (misalnya aerasi kuat, dan sering kali penambahan sumber karbon seperti molase untuk mendorong bakteri heterotrof memanfaatkan nitrogen). Karena flok itu biomassa, ikan nila dapat memakannya dengan cara "*grazing*" (menggembala) di kolom air, sehingga flok berperan sebagai pakan tambahan berupa protein mikroba.

Yang diperlukan untuk budidaya bioflok

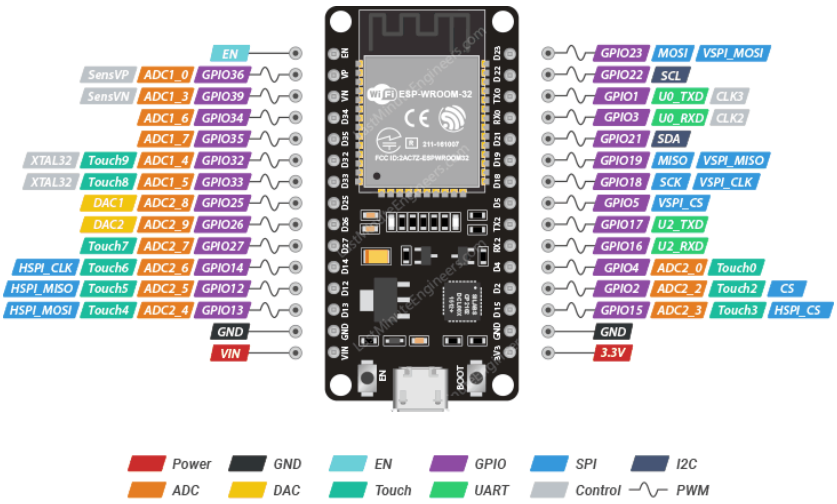
1. Wadah/tangki/kolam: kolam terpal/bak fiber/tangki bundar yang mendukung sirkulasi agar flok tidak banyak mengendap. Pada sistem bioflok, air memang cenderung keruh karena flok, jadi desain wadah dan sirkulasi penting agar endapan tidak menjadi "beban organik" di dasar.
2. Aerasi kuat dan stabil (wajib): aerasi menjaga DO dan menjaga flok tetap tersuspensi; pada sistem bioflok berbasis IoT, air pump menjadi aktuator utama untuk mempertahankan kondisi optimal. Aerasi juga penting karena saat DO turun, ikan menjadi rentan dan proses mikroba terganggu.
3. Listrik stabil dan cadangan: sistem padat tebar lebih sensitif terhadap penurunan DO, sehingga pemadaman listrik menjadi risiko utama; studi IoT bioflok bahkan mengaktifkan/menonaktifkan air *pump* secara otomatis berdasarkan kondisi.
4. Manajemen pakan ketat: sisa pakan dan buangan metabolisme mempercepat penurunan kualitas air, sehingga pemberian pakan harus terukur. Pada bioflok, beban organik yang berlebihan bisa mengganggu kestabilan pH–DO–nitrogen dan memicu masalah kualitas air.
5. *Monitoring* kualitas air: parameter yang umum dipantau pada bioflok meliputi suhu, pH, DO, TDS, *turbidity*, serta ketinggian air; pemantauan *real-time* membantu tindakan koreksi lebih cepat.

6. Kontrol risiko amonia/nitrogen: peningkatan amonia dapat berbahaya bagi ikan hingga menyebabkan kematian, sehingga pengendalian kualitas air menjadi wajib.

Bioflok sering digunakan untuk meningkatkan kepadatan tebar karena sistemnya dirancang menjaga kualitas air melalui proses mikroba dan aerasi kuat, sehingga kolam kecil bisa menampung lebih banyak ikan dibanding budidaya konvensional pada volume yang sama. Contoh data dari penelitian/ujicoba padat tebar menunjukkan kisaran kepadatan pada sistem bioflok/hybrid bioflok dapat berada pada ratusan ekor per m^3; misalnya studi hybrid biofloc-RAS menguji 150, 200, 250, hingga 300 ekor/m^3 dan memodelkan kepadatan optimal sekitar 229 ekor/m^3 (dalam konteks sistem hybrid dan kondisi studi tersebut).

2.2.3 ESP 32 DEVKIT

ESP32 DevKit merupakan papan pengembangan (*development board*) yang memanfaatkan *System-on-Chip* (SoC) ESP32 sebagai pusat pemrosesan. Papan ini digunakan untuk mempercepat proses perancangan dan pengujian sistem tertanam karena menyediakan komponen pendukung minimum yang diperlukan, seperti regulator tegangan, antarmuka pemrograman melalui USB, tombol kontrol (*reset* dan *boot*), serta header pin yang memudahkan akses ke pin masukan/keluaran (GPIO)[9].



Gambar 2. 3 ESP 32 DevKit

Pada gambar 2.3 ditunjukkan modul ESP32 DevKit yang digunakan sebagai mikrokontroller. Secara arsitektural, ESP32 (menyediakan sumber daya komputasi yang cukup untuk membaca beberapa sensor sekaligus, menjalankan pengolahan

data (misalnya *filtering*, perhitungan rata-rata bergerak, atau validasi ambang batas), dan tetap mempertahankan komunikasi nirkabel secara periodik maupun *real-time*. Modul ESP32 DevKit sendiri memiliki komponen memori internal (ROM dan SRAM) serta memori flash eksternal untuk menyimpan program, sehingga mampu menjalankan aplikasi IoT tanpa perangkat penyimpanan tambahan. Dukungan konektivitas *Wi-Fi* dan *BLE* pada modul yang sama memungkinkan sistem *monitoring* bekerja pada jaringan lokal (*Wi-Fi*) dan tetap memungkinkan konfigurasi perangkat atau komunikasi jarak dekat (*BLE*) bila diperlukan. Pada implementasi sistem IoT, pola kerja ESP32 umumnya pertama adalah tahap inisialisasi, ESP32 akan membaca konfigurasi *boot* dari pin tertentu (*strapping pins*) untuk menentukan apakah perangkat masuk mode normal (menjalankan program) atau mode pemrograman (*download/flash*). Setelah boot

normal, ESP32 akan menjalankan program utama yang pada umumnya berupa loop pembacaan sensor secara periodik. pada titik ini, data dapat dikirim ke platform *monitoring* atau disimpan lokal (jika menggunakan SD-*card interface*). Jika sistem menerapkan kontrol otomatis, ESP32 akan membandingkan nilai parameter yang terbaca dengan nilai ambang (*threshold*), ketika parameter keluar rentang, ESP32 mengaktifkan aktuator melalui *outp ut* digital (misalnya *relay* untuk aerator atau pompa). Adapun spesifikasi ESP 32 DevKit dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Spesifikasi ESP 32 DevKit

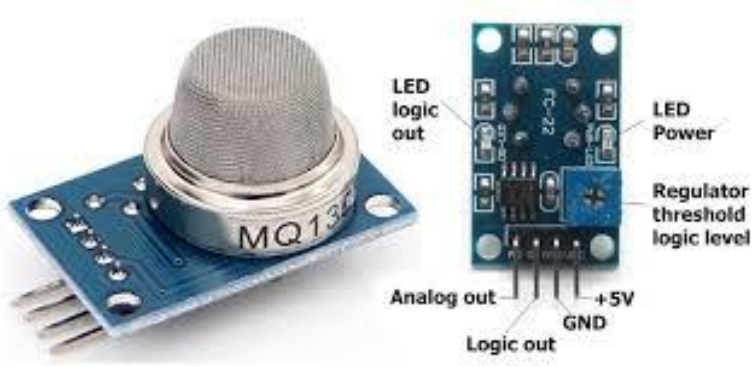
Parameter	**Spesifikasi**
Operating voltage	3.3 V
Tegangan suplai VIN	5–12 V (rekomendasi 7–9 V)
Wi-Fi	802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hingga 150 Mbit/s)
Digital IO *Pin* (DIO)	25
Analog Input Pin (ADC)	6
Analog Output Pin (DAC)	2
UART	3
SPI	2
I2C	3
Memori	520 KB SRAM, 4 MB *Flash*
Clock Speed	240 MHz
Mode Supported	AP, STA, AP+STA

Pada tabel 2.1 ditunjukkan spesikfikasi dari ESP32, Board ESP32 bekerja dengan operating voltage 3,3 V dan menerima VIN 5–12 V (rekomendasi 7–9 V). Dari sisi komunikasi, *board* mendukung *Wi-Fi* 802.11 b/g/n/e/i pada 2,4 GHz hingga 150 Mbit/s. Untuk antarmuka I/O, *board* mencantumkan 25 digital IO, 6 *analog input* (ADC), 2 *analog output* (DAC). Kapabilitas pemrosesan dan penyimpanan ditunjang oleh memori 520 KB SRAM dan 4 MB flash, ADC 12-bit, serta *maximum clock* 240 MHz, ditambah dukungan PWM pada setiap GPIO.

2.2.4 Sensor Gas MQ-135

Sensor gas MQ-135 merupakan sensor semikonduktor yang banyak digunakan untuk pemantauan kualitas udara dan memiliki sensitivitas tinggi terhadap beberapa gas, terutama amonia (NH_3), serta juga merespons gas lain seperti NOx, alkohol, benzena, asap, dan CO_2. Dalam penelitian berbasis budidaya/perikanan, MQ-135 dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi perubahan konsentrasi amonia sebagai indikator kondisi lingkungan yang berpotensi mengganggu kesehatan ikan dan/atau menunjukkan adanya peningkatan senyawa nitrogen yang perlu diwaspadai.[8]

Sensor MQ-135 adalah sensor gas yang dapat mendeteksi senyawa berbahaya



Gambar 2. 4 Sensor Gas MQ-135

atau kadar gas yang mengganggu kualitas udara dan berpotensi membahayakan pernapasan manusia. Sensor MQ-135 memberikan informasi mengenai kualitas udara dalam bentuk perubahan nilai resistansi analog pada pin keluarannya. Sensor MQ-135 memiliki empat pin, yaitu : Pin Vcc (+5Volt), pin *Ground*, Pin *Digital Out*, dan Pin *Analog out*. Kepraktisan dan konsumsi dayanya yang rendah membuat sensor ini sangat cocok digunakan sebagai indikator bahaya polusi [15].

MQ-135 bekerja menggunakan material sensitif berbasis SnO_2 (timah dioksida) yang nilai konduktivitas/resistansinya berubah ketika terpapar gas target. Sensor ini dilengkapi elemen pemanas (*heater*) yang menjaga kondisi operasi agar

reaksi permukaan berlangsung stabil; karena itu, MQ-135 harus diberi catu dan pemanasan awal (*preheating*) agar pembacaan menjadi lebih konsisten[16].

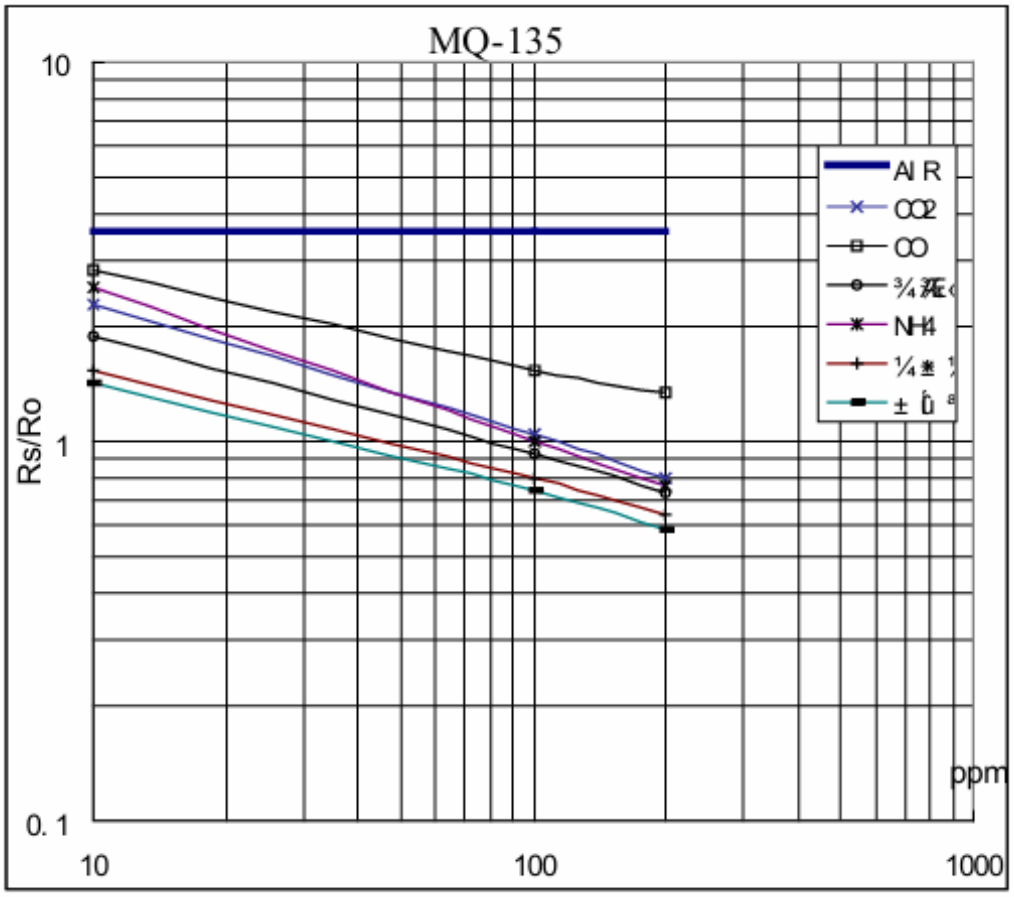
Perubahan resistansi sensor (Rs) kemudian diubah menjadi sinyal tegangan melalui rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) dengan resistor beban RL, sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang dapat dibaca mikrokontroler melalui ADC. Pada modul MQ-135 yang umum digunakan, tersedia keluaran analog dan digital: AOUT memberikan tegangan analog proporsional terhadap perubahan Rs, sedangkan DOUT merupakan keluaran digital berbasis komparator yang aktif ketika sinyal melewati ambang tertentu (*threshold*) yang biasanya dapat diatur pada modul.

MQ-135 termasuk sensor multi-gas sehingga responsnya tidak sepenuhnya selektif terhadap satu gas saja. Karena itu, interpretasi pembacaan sebagai "ppm NH_3" memerlukan pendekatan kalibrasi dan asumsi kondisi yang mendekati standar *Datasheet*, serta pengujian yang terkontrol agar pemetaan Rs/Ro terhadap ppm gas target dapat diterapkan secara lebih valid[16].

Keluaran analog MQ-135 (AOUT) dibaca menggunakan ADC mikrokontroler, kemudian dikonversi menjadi tegangan, dihitung Rs, dibandingkan terhadap Ro untuk memperoleh Rs/Ro, dan selanjutnya dipetakan menjadi estimasi ppm sesuai kurva sensitivitas. Jika MQ-135 digunakan bersama ESP32 (logika 3,3 V), perlu perhatian karena banyak modul MQ-135 disuplai 5 V dan tegangan keluarannya dapat mendekati 5 V, sehingga biasanya dibutuhkan penyesuaian tegangan (misalnya pembagi tegangan) agar aman untuk ADC ESP32.

MQ-135 memerlukan pemanasan awal agar sensor mencapai kondisi operasi yang stabil, sehingga pembacaan awal setelah dinyalakan tidak langsung dijadikan data valid. Dalam sebuah penelitian, aspek ini penting karena berhubungan dengan rancangan prosedur eksperimen (misalnya waktu *warm-up*, waktu *sampling*, serta penentuan kapan data dianggap stabil).

Karena MQ-135 merespons beberapa gas, interpretasi sebagai NH_3 harus disertai asumsi bahwa gas dominan yang mempengaruhi pembacaan adalah NH_3 atau dilakukan pengujian pada kondisi yang meminimalkan interferensi gas lain. Oleh sebab itu kondisi lingkungan (suhu/kelembapan), prosedur warm-up, nilai RL aktual modul, cara penentuan Ro, serta metode pemetaan Rs/Ro menjadi ppm (misalnya regresi/persamaan logaritmik berbasis kurva) sangat diperlukan dalam percobaan untuk mendapatkan data yang akurat[17].



Gambar 2. 5 Kurva *Datasheet* Sensitivitas MQ-135 Terhadap Jenis Gas

Pada gambar 2.5 ditunjukkan Kurva yang menggambarkan hubungan antara rasio resistansi sensor (Rs/Ro) dengan konsentrasi gas (ppm) pada kondisi pengujian tertentu. Kurva ini digunakan sebagai referensi karakteristik dasar sensor untuk menunjukkan bahwa perubahan nilai Rs/Ro dipengaruhi oleh konsentrasi gas yang dideteksi.

Pada penelitian ini, kurva *Datasheet* tidak digunakan secara langsung untuk mengonversi nilai Rs/Ro menjadi konsentrasi NH_3. Sebagai gantinya, dilakukan

proses kalibrasi menggunakan data hasil eksperimen terhadap larutan amonia dengan beberapa konsentrasi yang telah ditentukan. Hubungan antara keluaran sensor dan konsentrasi NH_3 kemudian dimodelkan menggunakan metode regresi linier sehingga diperoleh persamaan kalibrasi yang digunakan pada sistem.

2.2.5 Sensor Ph-4502c

Sensor pH adalah perangkat ukur yang digunakan untuk menentukan derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan berdasarkan aktivitas ion hidrogen (H^+). Pada umumnya pengukuran pH dilakukan secara potensiometrik menggunakan elektroda gelas (*glass electrode*) sebagai elektroda ukur dan elektroda referensi sebagai pembanding, sehingga terbentuk beda potensial yang berubah mengikuti pH larutan

Elektroda sensor pada sensor pH air terbuat dari bahan lapisan kaca yang sensitif dengan impendasi yang kecil oleh sensor pH air. Sensor pH air ini sangat baik untuk digunakan dalam melakukan pembacaan kadar pH cairan dengan interval waktu yang lama. Modul sensor ini merupakan modul yang berfungsi untuk mendeteksi tingkat pH air yang dimana outputnya berupa tegangan analog. Sehingga untuk mengkonversi nilai pembacaan harus dimasukan ke dalam rumus di kode program yang dibuat [18].



Gambar 2. 6 Sensor pH-4502c

Secara teoritis, hubungan pH terhadap tegangan mengikuti persamaan Nernst dengan kemiringan *(slope*) ideal sekitar 59,16 mV per 1 unit pH pada suhu 25°C. Nilai *slope* tersebut tidak bersifat mutlak dalam pemakaian nyata karena dipengaruhi temperatur, kondisi elektroda, dan penuaan probe, sehingga sistem pH pada praktiknya selalu memerlukan kalibrasi untuk memperoleh karakteristik aktual (*offset dan slope*).

PH-4502C merupakan kit sensor pH yang terdiri dari probe pH (elektroda) dan modul antarmuka/pengkondisi sinyal yang umumnya memakai konektor BNC. Probe pH menghasilkan sinyal tegangan yang sangat kecil serta memiliki impedansi sumber sangat tinggi, sehingga sinyal mudah terpengaruh noise dan dapat mengalami distorsi pembacaan jika langsung dihubungkan ke ADC tanpa penguat/buffer berimpedansi input tinggi[4]. Modul PH-4502C berfungsi sebagai pengkondisi sinyal untuk mengubah sinyal elektroda menjadi keluaran analog yang lebih "ramah" untuk sistem digital (ADC), dan menyediakan fitur penyesuaian agar rentang pH dapat dipetakan ke rentang tegangan yang dapat dibaca.

Modul PH-4502C berperan sebagai antarmuka yang melakukan penguatan/buffering dan penggeseran level (bias) pada sinyal pH. Dokumen PH-4502C menjelaskan tujuan ideal pemetaan keluaran analog, yaitu pH 0 direpresentasikan sebagai 0 V dan pH 14 direpresentasikan sebagai 5 V. Akan tetapi, pada kondisi default, pH 7 (netral) bisa berada di sekitar 0 V sehingga pada pH < 7 berpotensi menghasilkan tegangan negatif, sedangkan ADC mikrokontroler pada umumnya hanya menerima tegangan positif [17].

Selain keluaran analog, modul ini menyediakan keluaran digital (DO) yang bekerja berdasarkan komparator (pembanding). Keluaran DO dirancang untuk mendeteksi apakah nilai pH telah melewati nilai ambang yang diatur melalui trimpot (pH limit), sehingga dapat dipakai sebagai indikator/alarm sederhana tanpa perhitungan pH kontinu. Dokumen PH-4502C menerangkan bahwa pada kondisi normal DO berada pada level tinggi (sekitar 3,3 V) dan ketika ambang tercapai LED indikator menyala dan DO turun mendekati 0 V. Dalam landasan teori, keluaran DO dapat dipahami sebagai fitur deteksi ambang (*threshold detection*), sedangkan keluaran PO dipahami sebagai fitur pengukuran kontinu yang memerlukan kalibrasi dan pemetaan tegangan ke pH.

Spesifikasi dari Sensor pH-4502C dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sensor pH-4502c

Parameter	Nilai/Keterangan
Model	PH-4502C pH Meter Sensor
Rentang pengukuran pH	0–14 (0 = sangat asam, 14 = sangat basa)
Tegangan kerja / catu modul	5 V DC (VCC)
Jenis *output*	Analog (keluaran sinyal tegangan analog)
Keluaran analog	PO: pH analog *output* (menuju ADC)
Keluaran temperatur	TO: *temperature output*
Akurasi	±0,1 pH
Dimensi sensor (modul)	±80 mm × 20 mm
Panjang probe electrode	±120 mm
Kompatibilitas (klaim)	Arduino, ESP32, Raspberry Pi, dan sistem IoT
Target pemetaan tegangan (ideal)	pH 0 → 0 V dan pH 14 → 5 V
Stabilitas pembacaan (praktik)	Disarankan menunggu ±2 menit agar pembacaan mendekati stabil
Kisaran suhu deteksi	0–80 °C
Suhu kerja	−10 sampai 50 °C (suhu nominal 20 °C)
Kelembapan kerja	95% RH (kelembapan nominal 65% RH)
Tegangan pemanas	5 ± 0,2 V
Arus kerja	5–10 mA

Pada Tabel 2.2 dapat dilihat spesifikasi dari modul PH-4502C, modul memiliki antarmuka pin yang memudahkan integrasi dengan sistem akuisisi data. Pin VCC (5V DC) digunakan untuk mencatu modul, sedangkan GND digunakan sebagai *referensi ground*, pada dokumen disebutkan adanya dua pin *ground* (*probe ground* dan *board ground*). Pin PO adalah keluaran analog utama yang membawa informasi pH dalam bentuk tegangan analog. Pin DO merupakan keluaran digital berbasis ambang (*limit*) yang dikendalikan oleh komparator internal dan pengaturan pH limit. Pin TO dicantumkan sebagai keluaran temperatur (*temperature output*),

meskipun implementasi dan pemanfaatannya bergantung pada varian modul dan rancangan sistem.

Modul juga menyediakan dua trimpot, yaitu POT 1 untuk pengaturan offset pembacaan analog dan POT 2 untuk pengaturan ambang pH *limit* (digital). Secara konseptual, POT 1 berkaitan dengan penetapan titik tengah (bias) agar pH netral berada di sekitar 2,5 V, sedangkan POT 2 berkaitan dengan penentuan batas pH tertentu yang akan memicu perubahan status keluaran DO. Pemisahan fungsi ini penting karena kalibrasi pengukuran kontinu (PO) tidak identik dengan pengaturan ambang komparator (DO), sehingga keduanya sebaiknya diperlakukan sebagai dua fitur yang berbeda.

2.2.6 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur temperatur suatu media, baik udara maupun cairan, sebagai salah satu parameter penting dalam pemantauan kualitas lingkungan. Pada aplikasi pengukuran suhu air, sensor umumnya dikemas dalam bentuk probe tahan air (*waterproof probe*), yaitu elemen sensor ditempatkan di dalam selongsong logam (umumnya *stainless steel*) dan dihubungkan dengan kabel berpelindung sehingga dapat digunakan pada lingkungan lembap atau kondisi terendam.

Sensor DS18B20 termasuk termometer digital, yaitu sensor mengonversi besaran suhu menjadi data digital, sehingga hasil pengukuran tidak dipengaruhi langsung oleh penurunan tegangan pada kabel seperti yang sering terjadi pada sensor analog [17]. Karakteristik ini menguntungkan untuk instalasi dengan panjang kabel tertentu karena informasi suhu dikirim sebagai data digital melalui protokol komunikasi.



Gambar 2. 7 Sensor Suhu DS18B20

DS18B20 bekerja dengan cara melakukan konversi temperatur menjadi data digital, kemudian mengirimkan data tersebut melalui protokol komunikasi 1-Wire. Protokol 1-Wire memungkinkan komunikasi data menggunakan satu jalur data (DQ) selain jalur catu daya (VDD) dan ground (GND). Setiap perangkat DS18B20 memiliki alamat unik 64-bit, sehingga beberapa sensor dapat dihubungkan pada satu jalur data yang sama (konfigurasi *multi-drop*) tanpa konflik alamat, selama pengelolaan bus dilakukan dengan benar[17].

Sensor DS18B20 menyediakan resolusi yang dapat dipilih dari 9-bit hingga 12-bit, sehingga pengguna dapat menyesuaikan kebutuhan ketelitian pembacaan dengan waktu konversi. Rentang pengukuran suhu DS18B20 adalah −55°C hingga +125°C, dengan akurasi tipikal ±0,5°C pada rentang −10°C sampai +85°C. Waktu konversi untuk menghasilkan data suhu dinyatakan kurang dari 750 ms pada resolusi tertinggi, sehingga cukup memadai untuk pemantauan suhu air yang umumnya berubah relatif lambat. Spesifikasi sensor suhu dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor Suhu DS18B20

Parameter	Nilai/Keterangan
Jenis sensor	DS18B20 digital thermometer (umumnya pada *probe waterproof*)
Rentang suhu ukur	−55°C hingga +125°C
Akurasi	±0,5°C pada −10°C hingga +85°C
Resolusi	9-bit hingga 12-bit (dapat dipilih)
Waktu konversi	< 750 ms (umumnya pada resolusi tertinggi)
Tegangan suplai	3,0 V hingga 5,5 V
Antarmuka komunikasi	1-Wire (satu jalur data)
Alamat perangkat	*Unique* 64-bit ID (mendukung multi-sensor satu bus)
Konfigurasi kabel probe	3 kabel (VCC, DATA, GND)
Pull-up 1-Wire	Resistor *pull-up* eksternal sekitar 5 kΩ (umum 4,7 kΩ)
Konstruksi probe	*Stainless steel probe* (*waterproof*), panjang/diameter bervariasi

Pada penggunaan 1-*Wire*, jalur data bersifat open-drain sehingga memerlukan resistor *pull-up* eksternal agar kondisi idle bus berada pada level logika tinggi. Nilai resistor *pull-up* yang paling umum digunakan adalah sekitar 4,7 kΩ ke VCC, walaupun nilai efektif dapat disesuaikan bergantung panjang kabel dan kondisi

gangguan (*noise*) pada instalasi. DS18B20 juga mendukung mode parasite power (dua kabel), namun koneksi tiga kabel (Vcc, Data, Gnd) umumnya lebih stabil, terutama pada instalasi dengan kabel lebih panjang atau lingkungan yang berpotensi menghasilkan interferensi.

Pada varian *waterproof*, DS18B20 umumnya dipasang di dalam selongsong stainless steel dengan penyegelan pada ujung probe, sehingga elemen sensor terlindungi dari air dan kelembapan. Konstruksi ini memungkinkan sensor ditempatkan langsung pada media cair untuk memperoleh pengukuran temperatur yang lebih representatif terhadap kondisi aktual air. Meskipun demikian, keandalan penggunaan jangka panjang tetap dipengaruhi kualitas penyegelan probe dan kualitas isolasi kabel, sehingga perlu memperhatikan batasan produk dan praktik pemasangan yang baik.

2.2.7 IoT Kita

IoT Kita merupakan platform *Internet of Things* (IoT) yang digunakan untuk memantau dan menampilkan data sensor secara *real-time* melalui jaringan internet. Platform ini menyediakan antarmuka *Dashboard* yang dapat diakses menggunakan smartphone maupun komputer sehingga pengguna dapat memonitor kondisi sistem tanpa harus berada di lokasi alat[19]. Dalam penelitian ini, *Dashboard* IoT Kita digunakan untuk menampilkan data sensor MQ-135, sensor pH, dan sensor suhu DS18B20 yang dikirim oleh mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi jaringan.



Gambar 2. 8 IoT Kita

Pada sistem IoT, mikrokontroler berfungsi sebagai node pengumpul data yang membaca keluaran sensor, kemudian mengirimkan data tersebut ke *server* melalui protokol komunikasi internet. Data yang diterima *server* selanjutnya disimpan dan

ditampilkan pada *Dashboard* dalam bentuk nilai numerik, indikator status, maupun grafik perubahan terhadap waktu. Dengan mekanisme ini, pengguna dapat melakukan pemantauan kualitas air secara *real-time* dan memperoleh informasi kondisi sistem dengan lebih cepat.

Arsitektur kerja *Dashboard* IoT terdiri dari tiga bagian utama, yaitu sensor dan mikrokontroler, jaringan komunikasi, dan platform *Dashboard*. Sensor MQ-135, sensor pH, dan DS18B20 menghasilkan data pengukuran yang dibaca oleh ESP32. Selanjutnya ESP32 mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol komunikasi *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) menuju *server* IoT. *Server* kemudian meneruskan data tersebut ke *Dashboard* sehingga nilai pengukuran dapat ditampilkan secara langsung kepada pengguna[20].

Penggunaan *Dashboard* IoT dalam penelitian memiliki beberapa kelebihan, antara lain pemantauan jarak jauh, penyimpanan data historis, dan penyajian informasi secara visual. Data pengukuran yang tersimpan dapat digunakan untuk analisis perubahan kualitas air dari waktu ke waktu, sedangkan tampilan grafik memudahkan pengguna dalam mengidentifikasi kecenderungan kenaikan amonia, perubahan pH, maupun perubahan suhu air. Selain itu, *Dashboard* juga dapat digunakan sebagai media peringatan dini apabila nilai parameter melebihi batas yang telah ditentukan.

Dalam penelitian ini, *Dashboard* IoT Kita berfungsi sebagai media pemantauan kondisi kolam secara *real-time*. ESP32 mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke platform IoT Kita melalui koneksi Wi-Fi, kemudian *Dashboard* menampilkan nilai konsentrasi amonia hasil kalibrasi sensor MQ-135, nilai pH air, dan suhu air. Informasi tersebut digunakan untuk membantu pengguna memantau kualitas air budidaya serta mengetahui lebih awal apabila terjadi kondisi yang berpotensi mengganggu kesehatan ikan.

2.2.8 Buzzer

Buzzer merupakan komponen elektroakustik yang mengubah energi listrik menjadi gelombang suara, sehingga lazim digunakan sebagai indikator bunyi



Gambar 2. 9 Buzzer

(alarm) pada sistem elektronik. *Buzzer* dipilih sebagai indikator karena mudah dikenali oleh pengguna, dapat bekerja tanpa pengamatan visual (berbeda dengan LED), dan efektif sebagai notifikasi ketika sistem berada pada kondisi tertentu atau memerlukan tindakan pengguna. Secara umum, *Buzzer* dimanfaatkan untuk memberikan sinyal peringatan (*warning*) dan sinyal kondisi (status) pada perangkat, misalnya bunyi pendek sebagai indikator proses berhasil, atau bunyi berulang sebagai indikator kondisi bahaya [21].

Teknologi *Buzzer* yang paling umum dijumpai adalah *piezoelectric Buzzer* dan magnetic *Buzzer*. Pada *piezoelectric Buzzer*, elemen *piezoelektric* akan mengalami deformasi mekanik saat diberikan tegangan, kemudian deformasi tersebut menggetarkan diafragma sehingga menghasilkan gelombang bunyi. Sifat piezoelektrik menyebabkan komponen ini dapat merespons sinyal AC/gelombang kotak pada frekuensi tertentu sehingga mampu menghasilkan nada (*tone*) yang jelas, terutama bila frekuensi mendekati frekuensi resonansi mekaniknya.

Karakter bunyi yang dihasilkan *Buzzer* dipengaruhi oleh beberapa aspek, antara lain jenis teknologi (piezo atau magnetik), desain mekanik (diameter diafragma, ruang resonansi), besar tegangan/arus yang diberikan, serta frekuensi sinyal penggerak. Dalam desain sistem, pemilihan tipe *Buzzer* juga berkaitan

dengan kebutuhan tingkat kebisingan (*sound pressure level*/SPL) dan pola bunyi (frekuensi tetap atau dapat divariasikan).

Selain berdasarkan teknologi pembangkit bunyi, *Buzzer* sering diklasifikasikan menjadi active *Buzzer* dan passive *Buzzer*. Active *Buzzer* memiliki osilator internal, sehingga dapat menghasilkan bunyi cukup dengan diberi tegangan DC sesuai spesifikasi (misalnya 3–5 V atau 5–12 V tergantung tipe). Konsekuensinya, frekuensi bunyi active *Buzzer* umumnya tetap (*fixed tone*), sehingga cocok untuk alarm sederhana dan implementasinya lebih mudah[21].

2.2.9 LCD 1602 12 C

LCD I2C adalah modul tampilan karakter (umumnya LCD 16×2/1602 berbasis pengendali HD44780 atau kompatibel) yang ditambahkan *I2C backpack* sehingga komunikasi ke mikrokontroler dapat dilakukan melalui protokol I2C. Penggunaan antarmuka I2C membuat koneksi menjadi lebih sederhana karena hanya memerlukan jalur SDA dan SCL (selain VCC dan GND), dibanding antarmuka paralel LCD standar yang memerlukan lebih banyak pin data dan kontrol.[22], spesifikasi LCD 1602 12C dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Spesifikasi LCD 1602 12C

Parameter	Spesifikasi Umum
Jenis tampilan	LCD karakter 16 × 2 baris (1602)
Matriks karakter	5 × 8 dot per karakter
Pengendali LCD	HD44780U atau kompatibel
Antarmuka	I2C melalui I2C backpack (umumnya PCF8574/PCF8574A)
Jumlah pin koneksi	4 pin: VCC, GND, SDA, SCL
Tegangan operasi (umum)	5 V DC (sebagian modul mendukung 3,3 V tergantung rancangan)
Alamat I2C (umum)	0x27 atau 0x3F (bervariasi tergantung modul)
Fitur tambahan modul	Potensiometer kontras; beberapa varian memiliki kontrol/jumper backlight

LCD 16×2 (1602) secara internal umumnya menggunakan pengendali HD44780 (atau kompatibel) yang bekerja dengan antarmuka paralel untuk menerima perintah (*command*) dan data karakter. Pada LCD I2C, antarmuka paralel tersebut tidak dihubungkan langsung ke mikrokontroler, melainkan dikendalikan oleh IC ekspander I/O (sering digunakan PCF8574/PCF8574A) pada modul *I2C backpack*. Mikrokontroler mengirim data melalui I2C ke PCF8574, kemudian PCF8574 mengubahnya menjadi sinyal paralel yang dibutuhkan oleh LCD untuk menampilkan karakter.

LCD 1602 dengan modul I2C umumnya menyediakan konektor 4 pin: VCC, GND, SDA, dan SCL. VCC biasanya 5V (sebagian modul dapat bekerja pada 3,3V tergantung rancangan), sedangkan SDA dan SCL adalah jalur data dan clock yang digunakan oleh protokol I2C. Pada platform seperti ESP32, pin I2C dapat dipetakan



Gambar 2. 10 LCD 1602 12C

ke GPIO tertentu; konfigurasi umum yang sering dipakai adalah SDA=GPIO21 dan SCL=GPIO22, meskipun dapat diubah sesuai kebutuhan.

Setiap perangkat pada bus I2C memiliki alamat 7-bit, sehingga LCD I2C harus diinisialisasi dengan alamat yang benar. Pada modul berbasis PCF8574, alamat yang paling umum dijumpai adalah 0x27 atau 0x3F, namun dapat bervariasi tergantung varian chip dan konfigurasi pabrikan. Karena variasi alamat tersebut, praktik yang dianjurkan adalah melakukan pemindaian alamat I2C (I2C *scanner*) untuk memastikan alamat yang digunakan sebelum pemrograman[23].

Modul *I2C backpack* biasanya dilengkapi potensiometer untuk mengatur kontras tampilan dan pada beberapa varian tersedia jumper atau kontrol untuk

backlight. Pengaturan kontras berpengaruh langsung terhadap keterbacaan karakter, terutama pada kondisi pencahayaan berbeda. Backlight memudahkan pembacaan pada kondisi cahaya rendah, namun dapat menambah konsumsi daya sehingga perlu dipertimbangkan pada sistem yang dibatasi daya.

2.2.10 *Power Supply*

Power Supply (catu daya) adalah rangkaian atau perangkat yang berfungsi menyediakan energi listrik dengan tegangan dan arus yang sesuai untuk mengoperasikan suatu sistem elektronik. Pada sistem berbasis mikrokontroler, *Power Supply* berperan penting karena setiap komponen (misalnya mikrokontroler, sensor, dan modul tampilan) memerlukan tegangan kerja tertentu serta suplai arus yang stabil agar dapat bekerja normal.



Gambar 2. 11 *Power Supply*

Secara umum, *Power Supply* melakukan proses konversi dan pengkondisian daya, yaitu mengubah sumber listrik yang tersedia menjadi keluaran yang dibutuhkan beban. Sumber dapat berasal dari AC (listrik PLN) atau DC (baterai/adaptor). Bila sumbernya AC, *Power Supply* akan menyearahkan (*rectification*) dan menyaring (*filtering*) tegangan agar menjadi DC, kemudian mengatur (*regulation*) agar tegangan keluaran stabil. Bila sumbernya DC tetapi tegangannya lebih tinggi dari kebutuhan rangkaian, *Power Supply* menggunakan konverter DC-DC (*step-down/buck*) atau regulator tegangan untuk menurunkannya menjadi nilai yang diinginkan[11].

Karakteristik utama *Power Supply* yang baik adalah tegangan keluaran stabil terhadap perubahan beban, riak (*ripple*) kecil, serta kemampuan arus yang

mencukupi. Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan gangguan seperti mikrokontroler melakukan *reset*, pembacaan sensor tidak akurat, atau tampilan LCD tidak normal. Oleh karena itu, pemilihan *Power Supply* perlu mempertimbangkan kebutuhan tegangan kerja, estimasi arus total seluruh beban (ditambah margin keamanan), dan kompatibilitas dengan lingkungan kerja.

Dalam implementasi, *Power Supply* sering dilengkapi elemen proteksi dan pendukung, misalnya sekering, dioda proteksi polaritas, serta kapasitor *bypass/decoupling* di dekat beban untuk meredam gangguan transien.

2.2.11 Regresi Linier

Regresi linier merupakan metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*) dalam bentuk persamaan matematis. Tujuan utama regresi linier adalah memperoleh suatu model yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai variabel terikat berdasarkan nilai variabel bebas. Metode ini banyak digunakan dalam proses kalibrasi sensor karena mampu membentuk hubungan matematis antara hasil pembacaan sensor dengan nilai referensi yang diperoleh dari alat ukur standar.

Pada regresi linier sederhana, hubungan antara kedua variabel dinyatakan dalam Persamaan 2.1 :

$$y = ax + b \quad \text{(2.1)}$$

Dengan:

y = variabel terikat

x = variabel bebas

a = koefisien regresi (*slope*)

b = intersep (*intercept*)

Nilai koefisien regresi dan intersep diperoleh dari hasil pengolahan data menggunakan metode *Ordinary Least Squares* (OLS), yaitu metode yang menentukan garis terbaik dengan meminimalkan jumlah kuadrat selisih antara nilai hasil pengamatan dan nilai hasil prediksi model. Nilai *slope* a dan *intercept* b dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3:

$$a = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \text{(2.2)}$$

$$b = \frac{\sum y - a \sum x}{n} \text{.....(2.3)}$$

Dengan:

a = koefisien regresi (*slope*)

b = intersep (*intercept*)

x = nilai variabel bebas

y = nilai variabel terikat

n = jumlah pasangan data

Dalam penelitian ini, regresi linier digunakan sebagai metode kalibrasi sensor. Data hasil pembacaan sensor MQ-135 dan sensor pH terhadap larutan referensi dikumpulkan pada beberapa titik pengujian dan disusun berdasarkan pasangan nilai variabel bebas dan variabel terikat. Selanjutnya, data diolah menggunakan bantuan Microsoft Excel melalui grafik scatter dengan penambahan Linear Trendline untuk memperoleh persamaan regresi. Persamaan regresi yang diperoleh digunakan sebagai persamaan kalibrasi pada program ESP32 untuk mengonversi keluaran sensor menjadi nilai konsentrasi amonia (ppm) maupun nilai pH hasil pengukuran.

Kualitas model regresi dapat dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2). Nilai R^2 menunjukkan tingkat kesesuaian antara data hasil pengamatan dengan model regresi yang diperoleh. Nilai berada pada rentang 0 hingga 1, di mana nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa model regresi mampu menjelaskan variasi data pengamatan. Nilai koefisien determinasi (R^2) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.4:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \text{.....(2.4)}$$

Keterangan :

R^2=koefisien determinasi

y_i=nilai aktual atau nilai referensi

$\hat{y}_i$=nilai hasil prediksi regresi

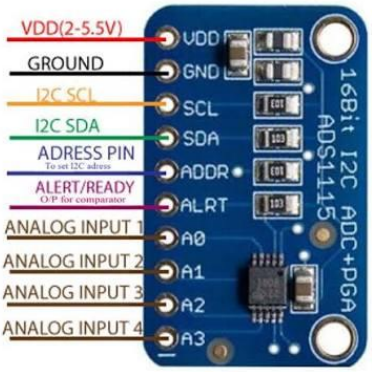
$\bar{y}$=rata-rata nilai aktual atau nilai referensi

Dalam penelitian ini, proses pengolahan regresi linier dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel. Data hasil pengukuran disusun berdasarkan pasangan nilai variabel bebas dan variabel terikat, kemudian dianalisis menggunakan grafik

scatter dengan penambahan *Linear Trendline*. Persamaan regresi dan nilai koefisien determinasi (R^2)ditampilkan pada grafik untuk memperoleh model kalibrasi sensor. Persamaan regresi yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai persamaan konversi pada program ESP32 untuk mengubah keluaran sensor menjadi nilai pengukuran.

2.2.12 Modul ADS1115

Modul ADS1115 merupakan *Analog-to-Digital Converter* (ADC) beresolusi 16-bit yang dikembangkan oleh Texas Instruments. Modul ini digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler. ADS1115 banyak digunakan pada sistem instrumentasi dan *Internet of Things* (IoT) karena memiliki resolusi yang lebih tinggi dibandingkan ADC bawaan pada beberapa mikrokontroler, sehingga mampu menghasilkan pembacaan sinyal analog yang lebih teliti.



Gambar 2. 12 *Module* ADS1115

ADS1115 menyediakan empat kanal masukan analog (A0–A3) yang dapat digunakan dalam mode *single-ended* maupun *differential input*. Komunikasi antara ADS1115 dan mikrokontroler menggunakan antarmuka *Inter-Integrated Circuit* (I^2C), sehingga hanya memerlukan dua jalur komunikasi, yaitu *Serial Data* (SDA) dan *Serial Clock* (SCL). Selain itu, modul ini memiliki alamat I^2C yang dapat diubah melalui pin ADDR sehingga memungkinkan penggunaan lebih dari satu modul ADS1115 pada satu jalur komunikasi.

Pada penelitian ini, ADS1115 digunakan untuk membaca keluaran analog dari sensor pH 4502C dan MQ-135. Penggunaan ADS1115 dipilih karena memiliki resolusi 16-bit (65.536 tingkat kuantisasi), sehingga perubahan tegangan keluaran

sensor pH dan MQ dapat dibaca dengan lebih teliti dibandingkan ADC bawaan ESP32 yang memiliki resolusi lebih rendah dan karakteristik pembacaan yang dapat bervariasi. Dengan demikian, proses kalibrasi sensor pH dan MQ menggunakan regresi linier dapat menghasilkan hubungan yang lebih akurat antara tegangan keluaran sensor dan nilai pH maupun nilai ppm.

ADS1115 juga dilengkapi dengan *Programmable Gain Amplifier* (PGA) yang memungkinkan pengguna memilih rentang tegangan masukan sesuai kebutuhan pengukuran. Fitur tersebut membantu meningkatkan sensitivitas pembacaan terhadap sinyal analog bertegangan rendah tanpa memerlukan rangkaian penguat tambahan. Selain itu, ADS1115 memiliki laju pengambilan data (*sampling rate*) yang dapat diatur hingga 860 sampel per detik (SPS), sehingga cukup memadai untuk aplikasi pemantauan kualitas air yang tidak memerlukan kecepatan akuisisi data yang sangat tinggi.

Dalam sistem yang dikembangkan pada penelitian ini, ESP32 berkomunikasi dengan ADS1115 melalui antarmuka I^2C untuk memperoleh data digital hasil konversi tegangan analog sensor pH dan MQ. Selanjutnya, data tersebut diproses menggunakan persamaan hasil kalibrasi sehingga diperoleh nilai pH dan MQ yang ditampilkan pada LCD dan *Dashboard* IoT Kita secara *real-time*.

2.2.13 Modul YX850

Modul YX850 merupakan modul pengalihan sumber daya (*automatic power switching module*) yang berfungsi untuk menjaga kontinuitas catu daya pada suatu sistem elektronik. Modul ini bekerja dengan mendeteksi keberadaan sumber tegangan utama (*Power Supply*). Ketika sumber tegangan utama tersedia, modul akan menyalurkan daya dari adaptor ke sistem sekaligus memungkinkan pengisian daya baterai apabila rangkaian mendukung proses pengisian. Sebaliknya, apabila catu daya utama terputus, modul secara otomatis mengalihkan sumber daya ke baterai cadangan (*backup battery*) tanpa memerlukan intervensi pengguna.

Penggunaan modul YX850 banyak diterapkan pada sistem berbasis mikrokontroler, *Internet of Things* (IoT), sistem *monitoring*, maupun perangkat



Gambar 2. 13 modul YX850

portabel yang memerlukan kontinuitas operasi. Proses perpindahan sumber daya dilakukan secara otomatis sehingga sistem tetap dapat bekerja ketika terjadi pemadaman listrik. Pada penelitian ini, modul YX850 digunakan sebagai rangkaian *backup power* untuk memastikan sistem *monitoring* kualitas air tetap beroperasi meskipun suplai listrik utama mengalami gangguan.

Secara umum modul YX850 memiliki terminal masukan untuk catu daya utama, terminal baterai, dan terminal keluaran menuju beban. Mekanisme perpindahan sumber daya dilakukan melalui rangkaian elektronik internal sehingga beban memperoleh suplai daya dari sumber yang tersedia dengan gangguan seminimal mungkin. Oleh karena itu modul ini dapat meningkatkan keandalan (*reliability*) sistem *monitoring* berbasis ESP32.

2.2.14 Baterai *Lithium Polymer*

Baterai *Lithium Polymer* (Li-Po) merupakan salah satu jenis baterai isi ulang yang menggunakan elektrolit berbentuk polimer sehingga memiliki ukuran lebih tipis, bobot ringan, dan kepadatan energi yang tinggi dibandingkan baterai konvensional.



Gambar 2. 14 Baterai Li-Po

Karakteristik tersebut menjadikan baterai Li-Po banyak digunakan pada perangkat bergerak, sistem IoT, robotika, maupun aplikasi yang membutuhkan sumber daya cadangan (*backup power*).

Baterai Li-Po memiliki tegangan nominal sebesar 3,7 V dengan tegangan maksimum pengisian sekitar 4,2 V dan batas tegangan minimum sekitar 3,0 V. Pengisian maupun pengosongan baterai harus dikendalikan menggunakan rangkaian proteksi untuk mencegah terjadinya *overcharge, overdischarge*, arus lebih (*overcurrent*), maupun hubungan singkat (*short circuit*) yang dapat memperpendek umur baterai atau menyebabkan kerusakan.

Pada penelitian ini digunakan baterai *Lithium Polymer* sebagai sumber daya cadangan ketika suplai listrik utama terputus. Dengan adanya baterai tersebut, sistem *monitoring* kualitas air tetap dapat melakukan pembacaan sensor, pengolahan data, serta pengiriman data ke *Dashboard* IoT Kita secara *real-time*.

2.2.15 Modul IP5306

Modul IP5306 merupakan *Power Management Integrated Circuit* (PMIC) yang dirancang untuk mengelola proses pengisian dan pelepasan daya baterai *Lithium-ion* maupun *Lithium Polymer*. Modul ini mengintegrasikan fungsi pengisian baterai, proteksi baterai, konverter boost DC-DC, serta manajemen distribusi daya dalam satu rangkaian.



Gambar 2. 15 Modul IP5306

Ketika sumber tegangan USB tersedia, modul akan mengisi baterai sekaligus menyediakan tegangan keluaran yang stabil untuk beban. Sebaliknya, ketika sumber tegangan utama terputus, modul secara otomatis menggunakan energi yang tersimpan pada baterai sehingga sistem tetap memperoleh suplai daya. Selain itu, modul ini memiliki fitur proteksi terhadap pengisian berlebih (*overcharge*

protection), pengosongan berlebih (*overdischarge protection*), arus lebih (*overcurrent protection*), serta hubungan singkat (*short circuit protection*).

Pada penelitian ini, modul IP5306 digunakan untuk mengelola proses pengisian baterai *Lithium Polymer* sekaligus menyediakan sumber tegangan cadangan bagi sistem *monitoring* berbasis ESP32. Dengan demikian kontinuitas pengoperasian alat tetap terjaga ketika terjadi pemadaman listrik.

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Dusun V Sumbersari, Desa Sonomartani, Kecamatan Kualauh Hulu, Kabupaten Labuhan Batu Utara, Provinsi Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu Penelitian

waktu Penelitian dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

No	Uraian	Bulan Ke							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kajian Literatur								
2	Penyusunan Proposal Penelitian								
3	Penulisan Bab 1 sampai Bab 3								
4	Seminar Proposal								
5	Penelitian dan Pengembilan Data								
6	Analisa Data								
7	Seminar Hasil								
8	Sidang								

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini tertera dalam tabel 3.2

Tabel 3. 2 Daftar Alat Penelitian

Alat penelitian	Fungsinya
Solder	Menyolder komponen ke PCB agar rangkaian kuat dan tidak mudah lepas.
Timah solder	Bahan penghantar untuk proses penyolderan.
Multimeter	Mengukur tegangan, arus, resistansi, dan mengecek kontinuitas rangkaian saat perakitan/pengujian.
Laptop/PC	Menulis program, mengunggah program ke mikrokontroler, serta melakukan pemantauan data (jika diperlukan).
Kabel USB data	Menghubungkan mikrokontroler ke laptop/PC untuk upload program dan/atau komunikasi serial.
Obeng	Membantu pemasangan modul, pengencangan sekrup, dan penataan perangkat.

Ada pun bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ada dalam tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Daftar Bahan Penelitian

Bahan penelitian	Fungsinya
ESP 32 DevKit	Unit kendali untuk membaca sensor, memproses data, dan mengendalikan output.
Sensor pH 4502c	Mengukur tingkat keasaman/kebasaan (pH) pada sampel cairan.
Sensor suhu DS18B20	Mengukur suhu media/lingkungan sebagai parameter pemantauan.
LCD 1602 I2C	Menampilkan data hasil pembacaan sensor dan status sistem.
Buzzer aktif	Alarm/peringatan bunyi saat kondisi air pada kolam bioflok terbaca sangat buruk
Sensor MQ-135	Mendeteksi kualitas udara/gas (*output analog/digital* tergantung modul) sebagai indikator kondisi udara.

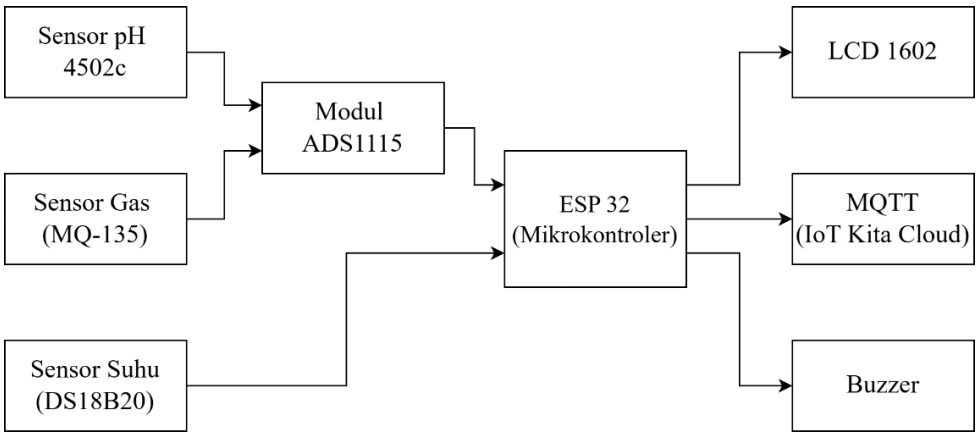
Bahan penelitian	Fungsinya
Modul ADS1115	sebagai konverter sinyal analog ke digital (ADC) dengan resolusi 16-bit
Power Supply	Sumber catu daya untuk seluruh rangkaian.
Modul YX850	berfungsi untuk menjaga kontinuitas catu daya pada suatu sistem elektronik
PCB	Media perakitan rangkaian.
Kabel jumper	Penghubung antar komponen
Baterai	Sebagai catu daya cadangan
Resistor	Pembatas arus/pembagi tegangan*/pull-up* sesuai kebutuhan rangkaian.

3.3 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut :

3.3.1 Diagram Blok Sistem

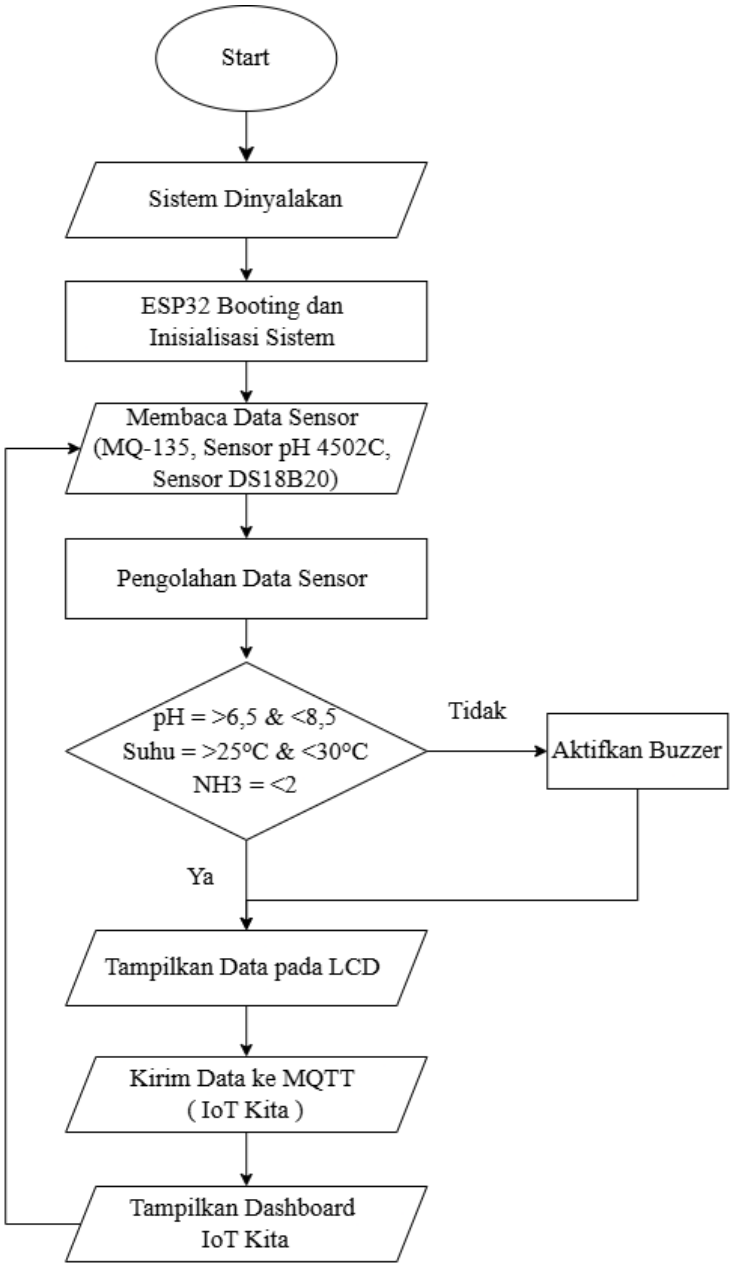
Sistem yang dirancang terdiri atas sensor pH 4502C, sensor suhu DS18B20, sensor gas MQ-135, modul ADS1115, ESP32, LCD 1602, relay yang mengendalikan *Buzzer*, serta *Dashboard* IoT Kita. Sensor pH dan sensor MQ-135 menghasilkan sinyal analog yang terlebih dahulu dikonversi menjadi data digital oleh modul ADS1115 sebelum diproses oleh ESP32. Sementara itu, sensor DS18B20 mengirimkan data suhu secara digital langsung ke ESP32 melalui antarmuka OneWire. Selanjutnya, hasil pengolahan data ditampilkan pada LCD 1602, dikirim ke *Dashboard* IoT Kita melalui protokol MQTT, dan digunakan untuk mengendalikan *Buzzer* sebagai peringatan apabila parameter melebihi batas yang ditentukan.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

3.3.2 Alir Perancangan Sistem

Mekanisme kerja sistem dimulai dari tahap inisialisasi awal saat perangkat dihidupkan, yang dilanjutkan dengan proses akuisisi data oleh sensor pH, sensor DS18B20 dan MQ-135 untuk mengukur parameter kualitas air secara *real-time*. Data mentah dari ketiga sensor tersebut kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diverifikasi dan diproses sebelum masuk ke tahap pengambilan keputusan logika.



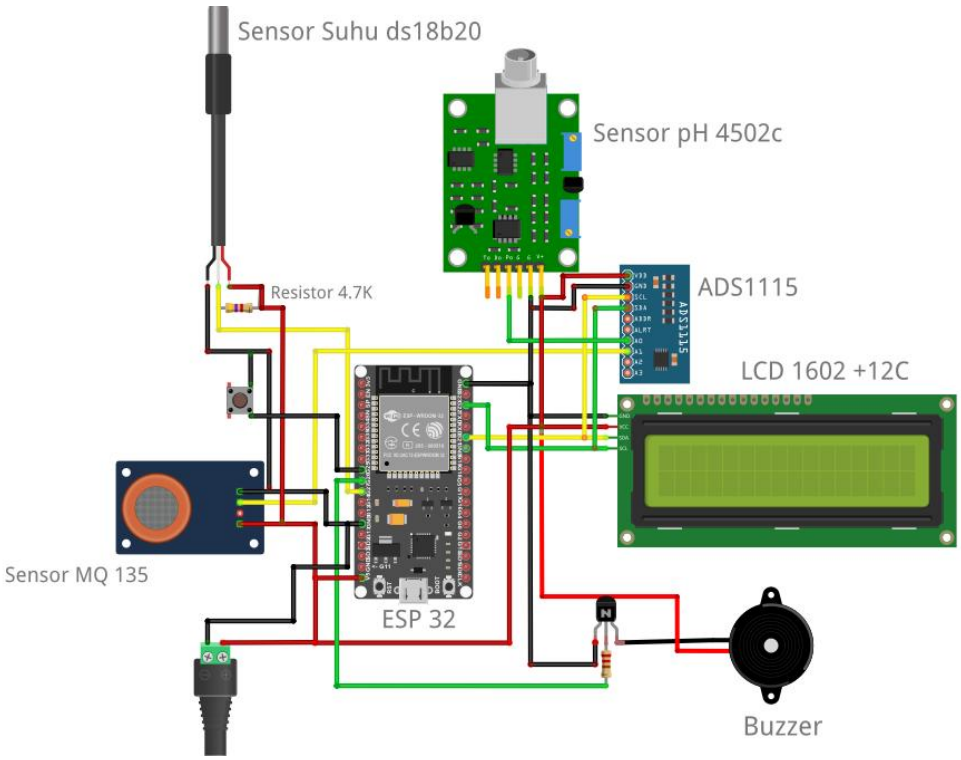
Gambar 3. 2 *Flowchart* Alir Perancangan Sistem

Pada gambar 3.2 ditunjukkan bagaimana sistem di rancang, sistem membandingkan nilai pembacaan sensor dengan ambang batas parameter ideal yang telah ditetapkan, yaitu rentang pH 6,5–8,5, suhu 25–30°C, dan kadar amonia di bawah 2 ppm. Jika hasil pengukuran mendeteksi adanya parameter yang menyimpang dari standar ideal tersebut ("Tidak"), mikrokontroler akan merespons dengan mengaktifkan *Buzzer* sebagai alarm peringatan.

Sebaliknya, jika kondisi air terpantau normal atau sesuai standar ("Iya"), sistem akan melewati tahap aktivasi alarm tersebut. Seluruh data hasil pengukuran, baik dalam kondisi normal maupun peringatan, selanjutnya dikirimkan ke *cloud server* untuk memperbarui basis data dan ditampilkan pada *Dashboard* pemantauan, sebelum sistem kembali mengulang siklus pembacaan sensor dari awal.

3.3.3 Rancangan Alat Penelitian

a. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)



Gambar 3. 3 Rancangan Alat Penelitian

Gambar 3.3 menunjukkan skema rangkaian elektronik lengkap yang menjadi acuan dalam pembuatan alat pemantau kualitas air berbasis IoT. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai unit pemroses utama yang mengintegrasikan

berbagai sensor dan aktuator. Berikut adalah penjelasan detail mengenai koneksi dan alur kerja sistem berdasarkan skema tersebut:

1. Koneksi Perangkat *Input*

a) Sensor Suhu DS18B20: Sensor ini terhubung ke pin digital ESP32 GPIO 27 menggunakan protokol komunikasi *One-Wire*. Agar pembacaan data stabil dan akurat, jalur data (DQ) sensor dihubungkan ke tegangan positif (VCC) melalui sebuah resistor *pull-up* 4.7kΩ. Sensor ini berfungsi mendeteksi perubahan suhu air secara presisi.

b) Sensor Gas MQ-135: Pin *output analog* (AO) dari sensor gas dihubungkan ke salah satu pin A1 pada modul ADS1115, Sensor ini membutuhkan pemanas internal (*heater*) yang mendapat suplai daya 5V agar elemen sensitifnya dapat mendeteksi kadar gas amonia yang menguap dari permukaan air.

c) Modul Sensor pH 4502c: Modul pengondisi sinyal pH (PCB hijau) menerima input dari probe elektroda BNC. Output analog (PO) dari modul ini dihubungkan ke pin A0 pada modul ADS1115 untuk membaca nilai tegangan yang merepresentasikan tingkat keasaman air. Modul ini juga mendapatkan suplai daya yang stabil untuk menjaga akurasi pembacaan.

d) Modul ADS1115 : berfungsi untuk menerima sinyal analog dari sensor, kemudian mengubahnya menjadi data digital yang dapat dibaca esp32 melalui komunikasi I2C.

2. Koneksi Perangkat *Output* dan Tampilan

a) LCD 16x2 dengan Modul I2C: Layar LCD digunakan untuk menampilkan nilai pH, suhu, dan kadar gas secara langsung di lokasi alat (*local monitoring*). Modul ini terhubung ke ESP32 melalui komunikasi I2C, yaitu pin SDA (GPIO 21) dan SCL (GPIO 22), serta mendapatkan suplai daya 5V. Penggunaan antarmuka I2C sangat efisien karena hanya membutuhkan dua kabel data dibandingkan koneksi paralel biasa..

b) *Buzzer* dikendalikan melalui transistor yang terhubung dengan GPIO 26 ESP32 yang berfungsi sebagai indikator peringatan dini berupa suara ketika salah satu parameter yang dipantau berada diluar batas yang telah ditentukan

3. Sistem Catu Daya (*Power Supply)*

Sistem ini dirancang untuk bekerja dengan dua level tegangan utama. Tegangan 5V DC dari adaptor eksternal digunakan untuk menyuplai daya ke modul Expansion ESP32, modul sensor MQ-135, sensor suhu DS18B20 dan LCD agar komponen tersebut dapat bekerja optimal. Sementara itu, ESP32 dan sensor pH 4502C umumnya bekerja pada tegangan logika 3.3V yang dihasilkan oleh regulator internal pada *board* ESP32.

Dengan konfigurasi ini, ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang membaca seluruh data sensor, menampilkannya ke LCD, dan mengirimkannya ke *cloud server* melalui Wi-Fi. Apabila data sensor melampaui ambang batas aman, ESP32 akan memicu *transistor* untuk menyalakan *Buzzer* sebagai peringatan dini. *Ground* (GND) dari seluruh komponen dan sumber daya disatukan (*common ground*) untuk memastikan referensi tegangan yang sama di seluruh sistem.

b. Rancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perancangan perangkat lunak merupakan tahap pengembangan logika program yang ditanamkan ke dalam mikrokontroler ESP32 agar dapat menjalankan fungsi akuisisi data, pemrosesan, dan komunikasi *Internet of Things* (IoT). Perangkat lunak ini dikembangkan menggunakan *Integrated Development Environment* (IDE) Arduino dengan bahasa pemrograman C++.

Secara garis besar, arsitektur perangkat lunak pada sistem ini dibagi menjadi tiga blok utama, yaitu inisialisasi (*setup*), siklus utama (*loop*), dan sub-rutin komunikasi cloud.

1. Inisialisasi Sistem (*Setup)*

Tahap awal operasi dimulai saat daya masuk ke mikrokontroler, memicu eksekusi blok fungsi *setup* (). Pada fase ini, dilakukan pendefinisian pin GPIO, aktivasi *baud rate serial monitor*, dan penyiapan protokol antarmuka sensor seperti *One-Wire* untuk DS18B20. Secara simultan, sistem menginisiasi konektivitas jaringan dengan menghubungkan ESP32 ke SSID *Wi-Fi* target dan melakukan

otentikasi ke platform Iot Kita untuk memastikan kanal pengiriman data *real-time* telah terbuka.

2. Pembacaan dan Pemrosesan Data (*Data Acquisition & Processing)* Dalam siklus utama (*main loop*), sistem secara periodik membaca data dari ketiga sensor utama:
    a) Sensor Suhu DS18B20: Membaca data suhu digital dalam satuan derajat Celcius.
    b) Sensor pH 4502c: Membaca nilai tegangan analog dari elektroda, yang kemudian dikonversi menjadi nilai pH (0-14) menggunakan persamaan regresi linier hasil kalibrasi.
    c) Sensor Gas MQ-135: Mengukur resistansi sensor terhadap gas target , kemudian datanya dikonversi menjadi nilai ppm (*parts per million*) menggunakan persamaan regresi linier untuk mengestimasi kadar amonia.
3. Logika Pengendalian dan Peringatan (*Control Logic)*

Setelah data terkumpul, program melakukan verifikasi kondisi kualitas air berdasarkan parameter standar budidaya ikan nila sistem bioflok. Algoritma kondisional (*if-else statement*) diterapkan untuk membandingkan nilai aktual dengan nilai ambang batas (*threshold*).

a) Jika pH < 6,5 atau pH > 8,5, Suhu < 25°C atau > 30°C, serta Amonia > 2 ppm, maka sistem akan mengaktifkan *relay* dan mengaktifkan *Buzzer* sebagai alarm peringatan.
b) Sebaliknya, jika seluruh parameter berada dalam rentang normal, status output akan dinonaktifkan.

4. Komunikasi dan Sinkronisasi *Dahsboard*

Setiap siklus pembacaan diakhiri dengan pengiriman data ke Iot Kita. Variabel-variabel data seperti Suhu, pH, dan Amonia disinkronkan secara *real-time* sehingga dapat dipantau melalui *Dashboard Web* atau aplikasi smartphone. Sistem juga dirancang untuk menangani penanganan kesalahan (*Error handling*) koneksi, di mana ESP32 akan mencoba menghubungkan ulang (*reconnect*) secara otomatis apabila sinyal *Wi-Fi* terputus.

3.3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan langkah-langkah operasional yang dilakukan secara terstruktur untuk mencapai tujuan penelitian. Berdasarkan diagram alur penelitian yang telah dirancang, tahapan pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi beberapa fase utama sebagai berikut:

a. Tahap Persiapan dan Studi Literatur

Pada tahap awal, penulis melakukan pengumpulan data dan referensi yang relevan dengan topik penelitian. Kegiatan ini meliputi:

1. Mempelajari karakteristik parameter kualitas air (pH, suhu, amonia) yang ideal untuk budidaya ikan nila sistem bioflok.
2. Mengkaji *Datasheet* komponen elektronik utama, yaitu mikrokontroler ESP32, sensor pH-4502C, sensor suhu DS18B20, dan sensor gas MQ-135.
3. Mempelajari dokumentasi teknis terkait integrasi *platform* Iot Kita untuk keperluan *monitoring* jarak jauh.

b. Tahap Pembuatan dan Perakitan Alat (*Prototyping)*

Setelah rancangan selesai, dilakukan proses perakitan fisik alat. Sensor-sensor dipasang pada modul konektor yang sesuai, dan mikrokontroler dihubungkan dengan catu daya. Proses penyolderan dilakukan pada komponen yang permanen untuk meminimalisir *noise* atau gangguan sinyal, sementara sensor pH dipasang dengan probe tahan air (*waterproof*).

c. Tahap Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan pada sensor pH-4502C dan sensor MQ-135 untuk memperoleh hubungan antara keluaran sensor dengan nilai referensi. Sensor pH-4502C dikalibrasi menggunakan beberapa larutan referensi, sedangkan sensor MQ-135 dikalibrasi berdasarkan hubungan antara keluaran sensor dan konsentrasi gas referensi menggunakan metode regresi linier. Sensor suhu DS18B20 tidak memerlukan proses kalibrasi khusus karena sensor telah memiliki keluaran digital dan karakteristik akurasi yang ditetapkan oleh pabrikan. Verifikasi pembacaan

DS18B20 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap alat ukur suhu referensi untuk mengetahui kesesuaian hasil pembacaannya.

1. Kalibrasi Sensor pH 4502C

Kalibrasi sensor pH-4502C dilakukan untuk memperoleh hubungan antara tegangan keluaran sensor dan nilai pH referensi sehingga hasil pengukuran sensor dapat disesuaikan dengan nilai acuan. Proses kalibrasi menggunakan larutan pH dengan rentang 3–10 yang telah disiapkan dan divalidasi menggunakan pH meter sebagai alat ukur referensi.Tahapan kalibrasi sensor pH dilakukan sebagai berikut:

a) Menyiapkan sensor pH 4502C, modul ADS1115, ESP32, serta larutan pH dengan rentang 3-10 yang telah di validasi menggunakan pH meter
b) Menghubungkan sensor pH ke modul ADS1115 dan ESP32 sesuai dengan rangkaian yang telah dirancang.
c) Menyalakan sistem dan memastikan sensor dapat membaca tegangan keluaran dengan baik.
d) Membersihkan probe sensor menggunakan air bersih, kemudian mengeringkannya menggunakan tisu tanpa menggosok permukaan elektroda.
e) Mencelupkan probe sensor ke dalam larutan pH yang sudah dibuat hingga seluruh bagian sensor yang direkomendasikan terendam.
f) Menunggu hingga pembacaan sensor stabil, kemudian mencatat nilai tegangan keluaran sensor yang dibaca melalui modul ADS1115 dan juga mencatat nilai pH hasil pembacaan pH meter pada larutan ph yg sama.
g) Mengulangi langkah pengukuran pada setiap larutan pH yang telah disiapkan.
h) Menyusun data hasil pengukuran berupa tegangan keluaran sensor dan nilai pH referensi dari pH meter kemudian disusun dalam bentuk tabel.
i) Mengolah data hasil pengukuran menggunakan metode regresi linier dengan bantuan Microsoft Excel untuk memperoleh persamaan kalibrasi yang menggambarkan hubungan antara tegangan keluaran sensor sebagai variabel bebas (x) dan nilai pH referensi sebagai variabel terikat (y).
j) Mengimplementasikan persamaan regresi yang diperoleh ke dalam program ESP32 sebagai persamaan konversi, sehingga nilai tegangan keluaran sensor dapat dikonversi menjadi nilai pH.

Persamaan regresi linier yang telah dijelaskan pada Persamaan (2.1), Persamaan (2.2), dan Persamaan (2.3) digunakan sebagai dasar matematis dalam proses kalibrasi sensor pH-4502C. Persamaan hasil regresi yang diperoleh dari pengolahan data menggunakan Microsoft Excel digunakan untuk mengonversi tegangan keluaran sensor menjadi nilai pH. Hasil persamaan kalibrasi dan analisis kinerja sensor disajikan pada Bab IV sebagai bagian dari hasil kalibrasi dan pengujian sensor pH-4502C.

2. Kalibrasi Sensor MQ-135

Kalibrasi sensor MQ-135 dilakukan untuk memperoleh hubungan antara respons sensor dan konsentrasi amonia referensi sehingga nilai keluaran sensor dapat digunakan untuk mengestimasi konsentrasi amonia dalam satuan ppm. Sensor MQ-135 merupakan sensor semikonduktor yang mengalami perubahan resistansi ketika terpapar gas, sehingga diperlukan proses kalibrasi untuk memperoleh hubungan antara respons sensor dan konsentrasi gas yang diukur.

Proses kalibrasi menggunakan beberapa sampel larutan amonia dengan konsentrasi yang telah diketahui berdasarkan hasil pengenceran dan pengukuran menggunakan test kit amonia sebagai nilai referensi. Sensor ditempatkan pada wadah pengujian yang dirancang agar gas amonia yang dihasilkan dari larutan dapat terdeteksi oleh sensor. Tahapan kalibrasi sensor MQ-135 dilakukan sebagai berikut:

a) Menyiapkan sensor MQ-135, modul ADS1115, ESP32, sumber daya, wadah pengujian, serta sampel larutan amonia dengan konsentrasi referensi.
b) Menghubungkan sensor MQ-135 ke modul ADS1115 dan ESP32 sesuai rangkaian yang telah dirancang.
c) Melakukan proses pemanasan awal (*burn-in*) sensor MQ-135 selama 24–48 jam pada penggunaan awal untuk menstabilkan karakteristik elemen sensor. Pada penggunaan berikutnya, sensor dipanaskan selama ±15–30 menit sebelum pengambilan data untuk mencapai kondisi operasi yang relatif stabil.
d) Menempatkan sensor MQ-135 pada wadah pengujian yang telah disiapkan sehingga sensor dapat mendeteksi gas amonia yang menguap dari permukaan larutan.

e) Membiarkan sensor beradaptasi terhadap lingkungan pengujian selama 5 menit hingga pembacaan relatif stabil.
f) Membaca nilai tegangan keluaran sensor menggunakan modul ADS1115 dan mencatat hasil pengukuran yang diperoleh.
g) Mengulangi proses pengambilan data pada setiap variasi konsentrasi amonia yang digunakan sebagai referensi.
h) Menghitung nilai resistansi sensor (Rs) berdasarkan tegangan keluaran sensor dan parameter rangkaian pembagi tegangan yang digunakan.
i) Menentukan nilai resistansi referensi (Ro) yang digunakan sebagai acuan kalibrasi.
j) Menghitung rasio Rs/Ro untuk setiap data hasil pengukuran.
k) Menyusun data hasil pengukuran dalam bentuk tabel yang berisi konsentrasi amonia referensi dan nilai rasio Rs/Ro.
l) Mengolah data menggunakan metode regresi linear untuk memperoleh hubungan matematis antara nilai Rs/Ro dan konsentrasi amonia referensi.
m) Persamaan regresi yang diperoleh kemudian diimplementasikan ke dalam program ESP32 untuk mengestimasi konsentrasi amonia selama proses *monitoring* kualitas air.

Perhitungan nilai resistansi sensor dilakukan menggunakan Persamaan 3.1.

$$R_s = R_L \times \frac{V_c - V_{out}}{V_{out}} \quad \text{.....(3.1)}$$

Keterangan:

Rs = resistansi sensor (Ω)

RL = resistor beban (Ω)

Vc = tegangan catu sensor (Volt)

Vout = tegangan keluaran sensor (Volt)

Nilai resistansi referensi diperoleh berdasarkan kondisi udara bersih dengan menggunakan rasio clean air sebesar 3,6. Nilai (R_o) dihitung menggunakan Persamaan 3.2.

$$R_o = \frac{R_S}{Ratio_{clean}} \quad \text{.....(3.2)}$$

Selanjutnya R_o yang diperoleh dari proses kalibrasi digunakan sebagai acuan untuk menghitung rasio resistansi sensor. Rasio R_s/R_o dihitung menggunakan Persamaan 3.3.

$$\frac{R_S}{R_o} \quad \text{.....(3.3)}$$

Keterangan:

Rs = resistansi sensor saat pengukuran

Ro = resistansi referensi hasil kalibrasi

Data hasil perhitungan Rs/Ro kemudian digunakan sebagai variabel dalam proses regresi linear dengan mengacu pada Persamaan (2.1), (2.2) dan (2.3) untuk memperoleh persamaan estimasi konsentrasi amonia, pada penerapannya, variabel bebas (x) merupakan nilai Rs/Ro, sedangkan variabel terikat (y) merupakan konsentrasi amonia referensi. Hasil kalibrasi, persamaan regresi, koefisien determinasi (R^2), serta analisis performa sensor akan dibahas pada Bab IV.

d. Tahap Pengambilan dan Analisis Data

Tahap pengambilan data dilakukan melalui serangkaian pengujian untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah dikembangkan. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan beberapa kali pengukuran pada setiap sensor untuk memperoleh data yang representatif dan mengurangi kemungkinan kesalahan akibat fluktuasi pembacaan sensor. Tahap pengambilan data dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Menyalakan sistem *monitoring* dan memastikan seluruh komponen bekerja dengan baik.
2. Menunggu sistem hingga kondisi pembacaan sensor stabil.
3. Menempatkan sensor pada sampel atau kondisi yang akan diuji.
4. Mencatat hasil pembacaan masing-masing sensor.
5. Melakukan pengukuran menggunakan alat ukur referensi yang sesuai dengan parameter yang diuji.
6. Mencatat nilai hasil pengukuran alat referensi.
7. Melakukan pengujian pada beberapa sampel atau kondisi yang berbeda.

8. Melakukan pengukuran berulang pada kondisi yang sama untuk mengetahui tingkat presisi sensor.
9. Mengolah data hasil pengukuran menggunakan persamaan *Error*, rata-rata *Error*, akurasi, standar deviasi (*Standard Deviation*/SD), dan *Relative Standard Deviation* (RSD).
10. Menyajikan hasil pengolahan data dalam bentuk tabel dan grafik untuk selanjutnya dianalisis pada Bab IV.

Pembacaan data dilakukan pada pembacaan sensor pH 4502C, sensor suhu DS18B20, sensor MQ-135 untuk mencari nilai *Error,* akurasi, presisi, dan keberhasilan pengiriman data ke *Dashboard* IoT Kita, serta respons *Buzzer* sebagai sistem peringatan dini. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan nilai referensi yang digunakan pada masing-masing pengujian untuk mengetahui tingkat kesesuaian pembacaan sensor.

Analisis *Error* digunakan untuk mengetahui besarnya penyimpangan hasil pembacaan sensor terhadap nilai referensi. Nilai *Error* dihitung menggunakan Persamaan 3.4.

$$Error = \frac{X_{referensi} - X_{sensor}}{X_{referensi}} \quad \text{.....(3.4)}$$

Persentase *Error* dihitung menggunakan Persamaan 3.5.

$$Error\,(\%) = \frac{X_{referensi} - X_{sensor}}{X_{referensi}} \times 100\% \quad \text{.....(3.5)}$$

Dalam menentukan rata-rata presentase *Error* digunakan persamaan 3.6.

$$\text{Rata-rata } Error = \frac{\sum Error}{n} \times 100\% \quad \text{.....(3.6)}$$

Keterangan :

$X_{referensi}$ = nilai hasil pengukuran alat referensi

X_{sensor} = nilai hasil pembacaan sensor

$\sum Error$ = jumlah nilai *Error*

Akurasi digunakan untuk mengetahui tingkat kedekatan hasil pembacaan sensor terhadap nilai referensi. Nilai akurasi dihitung menggunakan Persamaan 3.7.

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\,\% - Error\,(\%) \quad \text{.....(3.7)}$$

Rata-rata akurasi dihitung menggunakan Persamaan 3.8.

$$\text{Rata-rata Akurasi} = \frac{\sum \text{Akurasi}}{n} \times 100\% \quad \text{.....(3.8)}$$

Presisi digunakan untuk mengetahui tingkat konsistensi hasil pembacaan sensor pada pengukuran berulang dalam kondisi yang sama. Tingkat presisi dianalisis menggunakan standar deviasi (*Standard Deviation*/SD) dan *Relative Standard Deviation* (RSD).

Standar deviasi dihitung menggunakan Persamaan .3.9.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{.....(3.9)}$$

Nilai *Relative Standard Deviation* (RSD) dihitung menggunakan Persamaan 3.10.

$$RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100\% \quad \text{.....(3.10)}$$

Keterangan :

x_i = hasil pengukuran ke-i

$\bar{x}$ = nilai rata-rata hasil pengukuran

n = jumlah pengukuran

SD = standar deviasi

RSD = *Relative Standard Deviation*

$\sum$ =jumlah seluruh hasil perhitungan $(x_i - \bar{x})^2$

Nilai *Error* yang semakin kecil menunjukkan penyimpangan pembacaan sensor terhadap nilai referensi yang semakin rendah. Nilai akurasi yang semakin tinggi menunjukkan hasil pembacaan sensor yang semakin mendekati nilai referensi. Nilai RSD yang semakin kecil menunjukkan penyebaran hasil pengukuran yang semakin rendah sehingga tingkat presisi sensor semakin tinggi.

Hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil pengujian dan analisis kinerja masing-masing sensor, sistem *Dashboard*

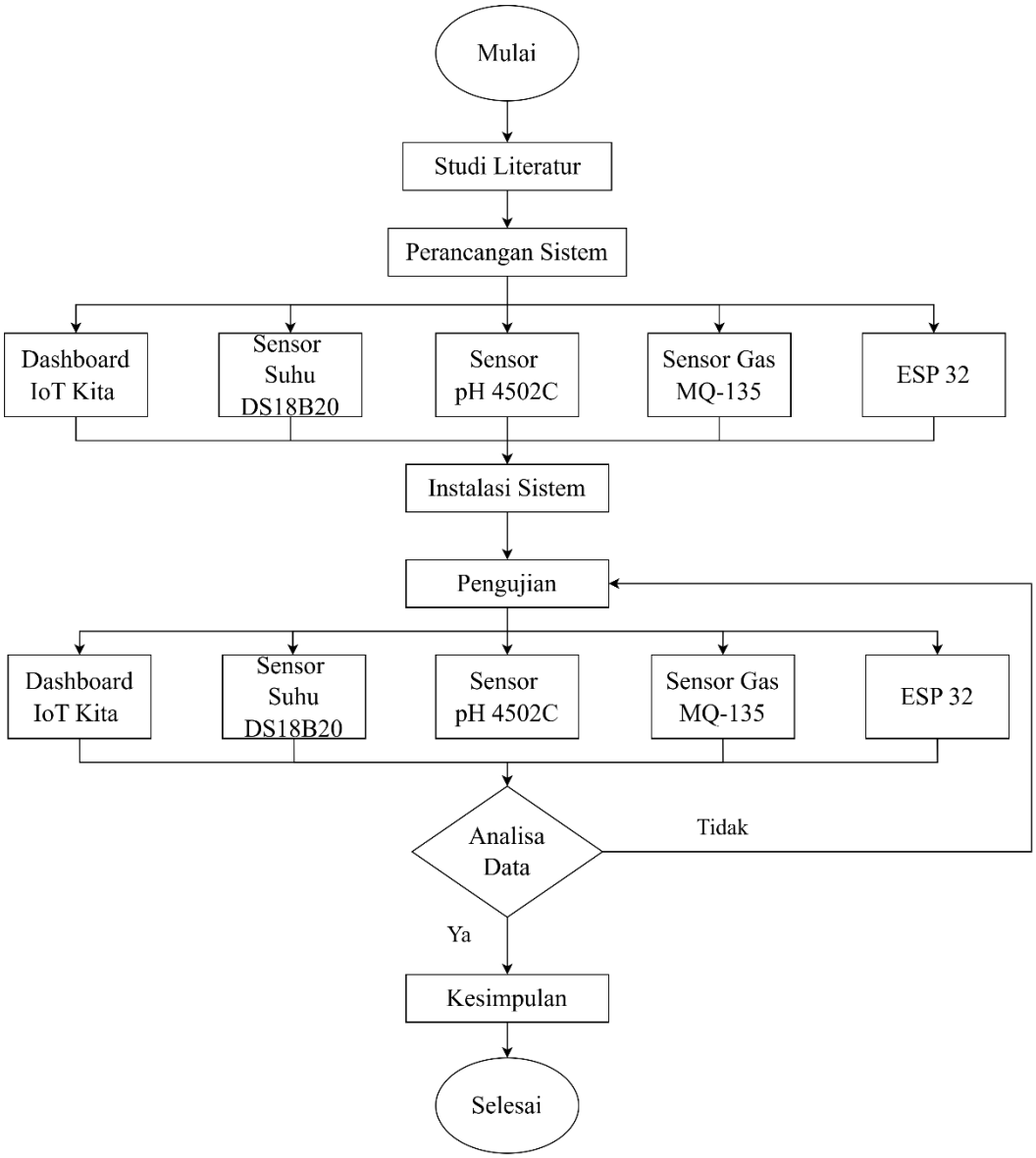
IoT Kita, serta respons *Buzzer* dibahas pada Bab IV.

e. Tahap Penyusunan Laporan

Tahap terakhir adalah mendokumentasikan seluruh hasil perancangan, pengujian, dan analisis data ke dalam laporan skripsi, serta menarik kesimpulan mengenai efektivitas sistem yang telah dibangun.

3.3.5 Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur, di mana penulis mengumpulkan landasan teori dan referensi terkait parameter kualitas air serta teknologi IoT yang digunakan.



Gambar 3. 4 *Flowchart* Alir Penelitian

Setelah dasar teori terpenuhi, penelitian berlanjut ke tahap perancangan sistem yang dilakukan secara paralel pada lima komponen utama, yaitu perancangan *Dashboard* pada Iot Kita, rangkaian sensor suhu, sensor pH, sensor MQ-135, serta integrasi mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses pusat. Tahap perancangan ini mencakup pembuatan skematik perangkat keras dan penyusunan algoritma pemrograman untuk memastikan seluruh komponen dapat saling terhubung.

Setelah rancangan selesai, dilakukan proses instalasi sistem, yaitu perakitan fisik komponen (*hardware*) dan pengunggahan program ke mikrokontroler agar alat siap untuk dioperasikan. Tahap selanjutnya adalah pengujian fungsionalitas terhadap masing-masing komponen yang telah diinstal, mulai dari konektivitas ke Iot Kita hingga akurasi pembacaan sensor suhu, pH, dan gas MQ-135.

Data yang diperoleh dari tahap pengujian kemudian diolah dalam tahap analisa data untuk menentukan kelayakan sistem. Pada tahap ini terdapat proses pengambilan keputusan, apabila hasil analisis menunjukkan data tidak valid atau terjadi kegagalan fungsi, maka proses akan dikembalikan ke tahap pengujian untuk diperbaiki. Namun, jika hasil analisis menyatakan data valid dan sistem berjalan dengan baik, penelitian dilanjutkan ke penarikan kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah, yang sekaligus menandai selesainya seluruh rangkaian kegiatan penelitian ini.

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas hasil implementasi sistem *monitoring* kualitas air kolam ikan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dirancang pada Bab III. Pembahasan meliputi hasil perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian fungsional setiap komponen, proses kalibrasi sensor, pengujian akurasi, serta analisis kinerja sistem secara keseluruhan. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu memantau parameter kualitas air berupa konsentrasi amonia (NH_3), pH, dan suhu air secara *real-time*, menampilkan hasil pengukuran pada LCD, mengirimkan data ke *Dashboard* IoT Kita, serta memberikan peringatan melalui *Buzzer* apabila parameter berada di luar batas aman.

4.1 Hasil Perancangan Sistem

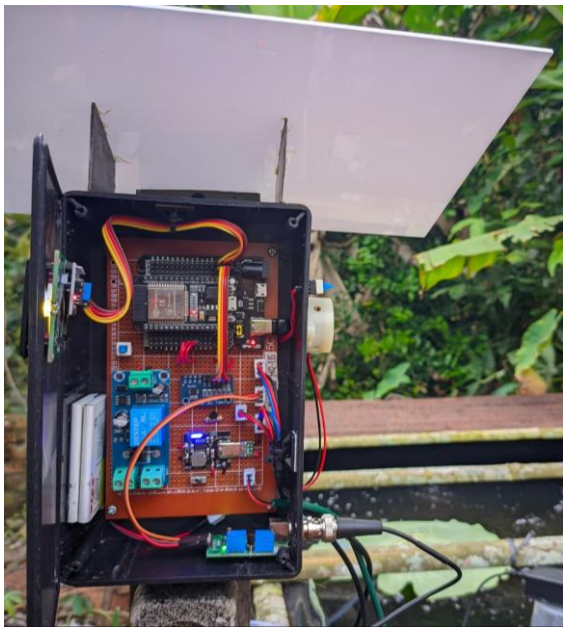
Tahap perancangan merupakan proses implementasi dari rancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang telah disusun pada Bab III. Pada tahap ini seluruh komponen dirakit menjadi satu sistem yang mampu melakukan pembacaan data sensor, pengolahan data, penampilan hasil pengukuran, serta pengiriman data ke platform *Internet of Things* secara *real-time*. Sistem yang dikembangkan terdiri atas sensor MQ-135 sebagai pendeteksi konsentrasi amonia (NH_3), sensor pH 4502C untuk mengukur derajat keasaman air, sensor suhu DS18B20 sebagai pengukur temperatur air, modul ADS1115 sebagai konverter analog-ke-digital beresolusi tinggi, ESP32 sebagai pusat pengendali sistem, LCD 1602 I2C sebagai media tampilan lokal, *Buzzer* sebagai indikator peringatan, *Dashboard* IoT Kita sebagai media pemantauan jarak jauh, serta sistem catu daya yang dilengkapi baterai cadangan (*backup battery*) untuk menjaga kontinuitas operasi alat ketika terjadi pemadaman listrik.

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen sehingga mampu bekerja sebagai satu kesatuan[24]. Data yang diperoleh dari sensor analog terlebih dahulu dikonversi oleh modul ADS1115 sebelum diproses oleh ESP32. Selanjutnya, nilai pembacaan sensor diolah menggunakan persamaan

regresi linear yang diperoleh dari proses kalibrasi sehingga menghasilkan nilai konsentrasi amonia (NH_3) dan pH yang lebih mendekati nilai referensi. Nilai suhu dari sensor DS18B20 dibaca secara digital melalui komunikasi *One Wire* tanpa memerlukan proses konversi analog. Setelah seluruh data diproses, hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 1602 I2C dan dikirimkan ke *Dashboard* IoT Kita melalui jaringan internet untuk mendukung pemantauan secara *real-time.*

4.1.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil integrasi beberapa modul elektronika yang memiliki fungsi berbeda namun saling mendukung dalam proses *monitoring* kualitas air kolam ikan. Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan kemudahan instalasi, kestabilan pembacaan sensor, efisiensi konsumsi daya, serta kemudahan pengembangan sistem di masa mendatang.



Gambar 4. 1 Keseluruhan Sistem *Monitoring* Kualitas Air

Berdasarkan Gambar 4.1, sistem *monitoring* kualitas air terdiri atas sebuah mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan sensor MQ-135, sensor pH 4502C, sensor suhu DS18B20, modul ADS1115, LCD 1602 I2C, *Buzzer*, serta rangkaian catu daya. Seluruh komponen ditempatkan dalam satu kesatuan sehingga membentuk sistem *monitoring* yang mampu melakukan pengukuran parameter kualitas air secara otomatis.

ESP32 berfungsi sebagai pusat pemrosesan data (*processing unit*) yang mengendalikan seluruh proses pembacaan sensor, pengolahan data, pengambilan keputusan, serta komunikasi dengan *Dashboard* IoT Kita[25]. Penggunaan ESP32 dipilih karena telah dilengkapi modul *Wi-Fi* terintegrasi sehingga tidak memerlukan perangkat komunikasi tambahan untuk mengirimkan data ke internet. Selain itu, kemampuan pemrosesan ESP32 yang lebih tinggi dibandingkan mikrokontroler konvensional memungkinkan proses pembacaan beberapa sensor secara bersamaan (*multisensor acquisition*) dengan waktu respon yang relatif cepat.

Sensor MQ-135 digunakan sebagai pendeteksi perubahan konsentrasi amonia (NH_3) di lingkungan air. Karena sensor ini menghasilkan sinyal analog dan memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, maka nilai keluarannya tidak langsung digunakan sebagai nilai konsentrasi amonia. Sebaliknya, data analog yang diperoleh akan diproses menggunakan persamaan regresi linear hasil kalibrasi sebagaimana dijelaskan pada Subbab 4.2 sehingga diperoleh estimasi konsentrasi amonia yang lebih representatif.

Sensor pH 4502C digunakan untuk mengukur derajat keasaman air[25]. Sama seperti sensor MQ-135, sensor ini menghasilkan keluaran analog sehingga proses pembacaannya dilakukan melalui modul ADS1115. Nilai tegangan yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi nilai pH menggunakan persamaan regresi linear hasil proses kalibrasi.

Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk mengukur temperatur air[26]. Berbeda dengan kedua sensor sebelumnya, DS18B20 menghasilkan keluaran digital melalui protokol *One Wire* sehingga tidak memerlukan proses konversi ADC. Penggunaan sensor digital ini dipilih karena memiliki resolusi pengukuran yang baik, stabil terhadap gangguan sinyal analog, serta mudah diintegrasikan dengan ESP32.

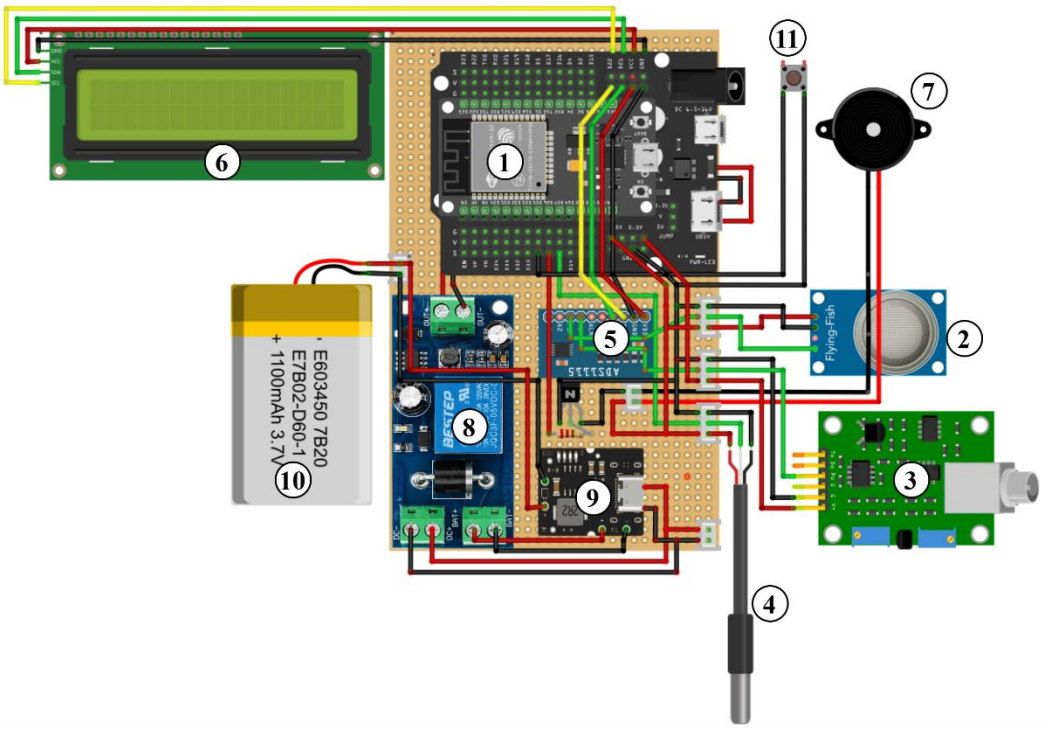
Penelitian ini menggunakan modul ADS1115 sebagai konverter *Analog-to-Digital Converter* (ADC) eksternal dengan resolusi 16-bit. Penggunaan ADS1115 bertujuan meningkatkan ketelitian pembacaan tegangan sensor dibandingkan ADC internal ESP32 yang memiliki variasi pembacaan relatif lebih besar. Dengan resolusi yang lebih tinggi, perubahan kecil pada keluaran sensor dapat dideteksi dengan lebih baik sehingga hasil pengukuran menjadi lebih stabil.

sistem dilengkapi LCD 1602 I2C yang menampilkan nilai konsentrasi amonia, pH, dan suhu secara langsung sebagai media informasi lokal. Penggunaan antarmuka I2C memungkinkan pengurangan jumlah pin yang digunakan pada ESP32 sehingga proses pengkabelan menjadi lebih sederhana.

Sistem juga dilengkapi *Dashboard* IoT Kita yang berfungsi menampilkan data hasil pengukuran secara *real-time*[27]. Dengan adanya *Dashboard* tersebut, pengguna dapat memantau kondisi kualitas air dari lokasi yang berbeda selama perangkat terhubung ke jaringan internet.

Sistem peringatan dini (*early warning system*), *Buzzer* akan diaktifkan apabila salah satu parameter kualitas air berada di luar batas aman yang telah ditentukan. Aktivasi *Buzzer* dilakukan oleh ESP32 melalui rangkaian transistor sebagai electronic switch, sehingga arus yang dibutuhkan *Buzzer* tidak langsung dibebankan pada pin keluaran mikrokontroler. Pendekatan ini bertujuan menjaga keamanan rangkaian sekaligus meningkatkan keandalan sistem.

Sistem menggunakan catu daya utama yang dipadukan dengan baterai *Lithium Polymer* sebagai sumber daya cadangan untuk menjamin kontinuitas pengoperasian alat. Perpindahan sumber daya dilakukan secara otomatis menggunakan modul YX850 dan modul IP5306, sehingga ketika suplai listrik utama terputus, sistem tetap memperoleh daya dari baterai tanpa menghentikan proses *monitoring*. Dengan demikian, data sensor masih dapat ditampilkan pada LCD maupun dikirimkan ke *Dashboard* IoT Kita meskipun terjadi pemadaman listrik.



Gambar 4. 2 *Wiring* Diagram Sistem

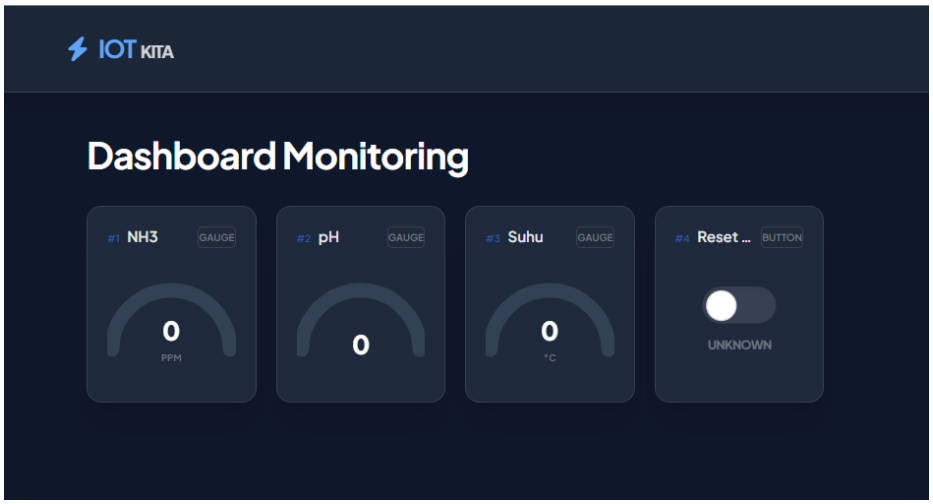
Gambar 4.2 menunjukkan tata letak perangkat keras beserta keterangan fungsi masing-masing komponen untuk mempermudah identifikasi setiap komponen penyusun sistem,.

Tabel 4. 1 Identifikasi Komponen Perangkat Keras

No	Komponen	Fungsi
1	ESP32	Mikrokontroler dan pusat pengendali sistem
2	MQ-135	Mendeteksi perubahan konsentrasi amonia (NH_3)
3	Sensor pH 4502C	Mengukur nilai pH air
4	DS18B20	Mengukur suhu air
5	ADS1115	Konverter ADC 16-bit untuk sensor analog
6	LCD 1602 I2C	Menampilkan hasil pengukuran secara lokal
7	*Buzzer*	Memberikan alarm ketika parameter tidak aman
8	Modul YX850	Perpindahan otomatis sumber daya
9	Modul IP5306	Pengisian dan manajemen baterai
10	Baterai Li-Po	Sumber daya cadangan sistem
11	*Push Button*	Sebagai tombol untuk mematikan/me *reset alarm*

4.1.2 Hasil Perancangan *Dashboard* IoT Kita

Selain menampilkan hasil pengukuran pada LCD, sistem juga dirancang agar mampu melakukan pemantauan secara jarak jauh (*remote monitoring*) menggunakan *Dashboard* IoT Kita. Integrasi *Dashboard* dilakukan untuk memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT), sehingga data hasil pembacaan sensor dapat diakses secara *real-time* melalui perangkat yang terhubung ke internet tanpa mengharuskan pengguna berada di lokasi kolam.



Gambar 4. 3 Tampilan *Dashboard* IoT Kita

Dashboard IoT Kita menampilkan parameter utama yang dipantau dalam penelitian ini, yaitu konsentrasi amonia (NH_3), nilai pH, dan suhu air. Ketiga parameter tersebut diperbarui secara berkala sesuai interval pengiriman data yang telah diprogram pada ESP32. Dengan adanya tampilan visual tersebut, pengguna dapat memantau kondisi kualitas air secara lebih mudah dan cepat dibandingkan hanya mengandalkan tampilan lokal pada LCD.

Pada penelitian ini, *Dashboard* IoT Kita juga berfungsi sebagai media verifikasi bahwa proses komunikasi data dari ESP32 menuju *server* berjalan dengan baik. Keberhasilan munculnya data pada *Dashboard* menunjukkan bahwa proses pembacaan sensor, pengolahan data, koneksi jaringan Wi-Fi, serta mekanisme pengiriman data telah bekerja secara terpadu. Dengan demikian, *Dashboard* tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi data, tetapi juga sebagai indikator keberhasilan implementasi sistem *Internet of Things* yang dikembangkan.

4.2 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi merupakan proses untuk menentukan hubungan antara keluaran suatu sensor dengan nilai besaran sebenarnya yang diukur menggunakan acuan atau alat referensi[28]. Tujuan utama kalibrasi adalah memperoleh model matematis yang mampu mengubah keluaran sensor menjadi nilai pengukuran yang lebih mendekati nilai referensi sehingga meningkatkan ketepatan hasil pengukuran. Proses kalibrasi menjadi tahapan penting dalam penelitian instrumentasi karena karakteristik setiap sensor dapat berbeda meskipun berasal dari tipe dan pabrikan yang sama. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh toleransi manufaktur, kondisi lingkungan, usia sensor, serta konfigurasi rangkaian yang digunakan.

Penelitian ini melakukan proses kalibrasi terhadap sensor MQ-135 dan sensor pH-4502C. Kedua sensor tersebut menghasilkan keluaran analog yang perlu dikonversi menjadi nilai pengukuran, yaitu konsentrasi amonia (NH_3) dan nilai pH. Hubungan matematis antara keluaran sensor dan nilai referensi diperlukan agar hasil pembacaan sensor dapat digunakan dalam sistem *monitoring*.

Metode yang digunakan dalam proses kalibrasi adalah regresi linier, yaitu metode statistik yang digunakan untuk membentuk hubungan linier antara data hasil pembacaan sensor dan data referensi. Persamaan regresi yang diperoleh digunakan sebagai model konversi pada program ESP32 sehingga keluaran sensor dapat dikonversi secara otomatis menjadi nilai konsentrasi amonia (NH_3) maupun nilai pH.

Penelitian ini menggunakan model regresi berdasarkan data hasil pengukuran secara langsung, bukan berdasarkan kurva sensitivitas yang terdapat pada *Datasheet* sensor MQ-135. Pendekatan tersebut dipilih agar persamaan kalibrasi dapat merepresentasikan karakteristik sensor pada kondisi pengujian yang digunakan dalam penelitian. Karakteristik tersebut dapat dipengaruhi oleh resistor beban (*load resistor*), rangkaian elektronik, serta kondisi lingkungan pengujian. Persamaan regresi yang diperoleh diharapkan dapat memberikan hasil konversi yang sesuai untuk diterapkan pada sistem *monitoring* yang dikembangkan.

Sensor suhu DS18B20 tidak dikalibrasi menggunakan metode regresi linier karena sensor tersebut menghasilkan keluaran digital dan memiliki spesifikasi akurasi yang telah ditetapkan oleh pabrikan. Pengujian terhadap sensor DS18B20

dilakukan melalui verifikasi pembacaan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap alat ukur suhu referensi. Hasil pengujian akurasi sensor DS18B20 dibahas pada Subbab 4.3.

4.2.1 Kalibrasi Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 merupakan sensor gas berbasis material semikonduktor timah dioksida (SnO_2) yang bekerja berdasarkan perubahan resistansi elemen sensitif ketika terpapar gas tertentu[29]. Pada penelitian ini sensor digunakan untuk mendeteksi perubahan konsentrasi amonia (NH_3) sebagai salah satu parameter kualitas air kolam ikan. Sebelum dilakukan proses regresi, terlebih dahulu dihitung Nilai resistansi sensor (Rs) diperoleh dari tegangan keluaran sensor yang dibaca menggunakan modul ADS1115. Pada rangkaian yang digunakan, sensor MQ-135 bekerja sebagai rangkaian pembagi tegangan dengan resistor beban (RL) sebesar 10 kΩ dan tegangan catu (Vc) sebesar 5 V. nilai Rs dapat dihitung menggunakan Persamaan (3.1).

$$R_s = R_L \times \frac{V_c - V_{out}}{V_{out}}$$

Nilai Vout diperoleh dari hasil pembacaan ADC ADS1115. Pada program Arduino IDE, pembacaan ADC dikonversi menjadi tegangan menggunakan nilai *Least Significant Bit* (LSB) ADS1115 sebesar 0,1875 mV/bit pada konfigurasi *gain* 2/3. Bagian program yang digunakan untuk memperoleh nilai tegangan adalah sebagai berikut.

```
ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);

int16_t adc = ads.readADC_SingleEnded(1);

float voltage = adc * ADS_LSB / 1000.0f;

MQ135.externalADCUpdate(voltage);
```

Gambar 4. 4 Konversi Nilai ADC ADS1115 dari Sensor menjadi Tegangan

Gambar 4.4 menunjukkan bahawa nilai ADC dari modul ADS1115 dikonversi menjadi tegangan dalam satuan volt. Nilai tegangan tersebut digunakan oleh sistem sebagai dasar perhitungan resistansi sensor (Rs). Perhitungan nilai Rs dapat ditunjukkan secara matematis, sebagai contoh apabila diperoleh tegangan keluaran sensor sebesar Vout, maka resistansi sensor dihitung dengan menggunakan nilai

R_L= 10k, dan Vc= 5V kedalam persamaan (3.1) nilai Rs diperoleh selanjutnya digunakan dalam proses penentuan Ro dan perhitungan rasio Rs/Ro

Proses penentuan Ro dilakukan menggunakan program Arduino IDE. Sensor terlebih dahulu dipanaskan untuk mencapai kondisi operasi yang stabil, kemudian dilakukan pembacaan sebanyak 200 sampel pada kondisi udara bersih. Nilai Ro dari setiap sampel dihitung dan dirata-ratakan untuk memperoleh nilai Ro akhir. program yang digunakan untuk proses kalibrasi Ro dapat dilihat pada gambar 4.5.

```
#define RatioMQ135CleanAir 3.6

MQ135.setRL(10);

float calcR0 = 0;

for (int i = 1; i <= 200; i++)
{
    ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);

    int16_t adc = ads.readADC_SingleEnded(1);

    float voltage = adc * ADS_LSB / 1000.0f;

    MQ135.externalADCUpdate(voltage);

    float r0 = MQ135.calibrate(RatioMQ135CleanAir);

    calcR0 += r0;
}

float finalR0 = calcR0 / 200.0f;

MQ135.setR0(finalR0);
```

Gambar 4. 5 *Code* Mencari Nilai Ro

Program tersebut menggunakan resistor beban sebesar 10 kΩ melalui perintah MQ135.setRL(10) dan rasio clean air sebesar 3,6 melalui RatioMQ135CleanAir. Nilai Ro dari setiap pembacaan kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan 200 sehingga diperoleh nilai Ro akhir. Berdasarkan hasil proses kalibrasi awal diperoleh nilai resistansi referensi:

Ro = 2,625 kΩ

Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai nilai acuan tetap dalam proses pengukuran dan kalibrasi sensor selanjutnya. Setelah nilai Rs dan Ro diperoleh, dilakukan perhitungan rasio resistansi sensor menggunakan persamaan (3.3)

$$\frac{R_S}{R_o}$$

Nilai Ro = 2,625 kΩ yang telah diperoleh dari proses kalibrasi awal digunakan sebagai nilai referensi. Sebagai contoh apabila diperoleh nilai Rs = 9,8096 kΩ maka:

$$\frac{R_s}{R_o} = \frac{9{,}8096}{2{,}625}$$

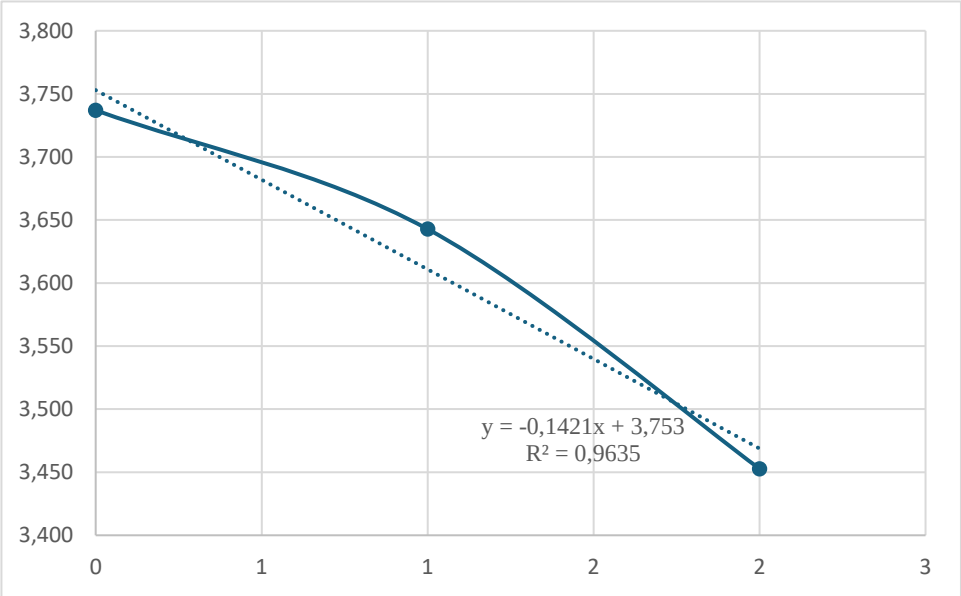
$$\frac{R_s}{R_o} = 3{,}737$$

Nilai rasio tersebut kemudian digunakan sebagai data keluaran sensor pada setiap konsentrasi amonia yang diuji.

Tabel 4. 2 Data Hasil Kalibrasi Sensor MQ-135

Pengukuran (ppm)	**(Rs/Ro)**
0	3,737
1	3,643
2	3,453

Data pada tabel 4.2 selanjutnya diolah menggunakan Microsoft Excel dengan metode regresi linear. Konsentrasi NH_3 referensi digunakan sebagai variabel bebas (x), sedangkan rasio Rs/Ro digunakan sebagai variabel terikat(y). Pengolahan menghasilkan persamaan regresi linear dan nilai koefisien determinasi (R^2)



Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Konsentrasi NH3 terhadap RS/RO

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan regresi linear, diperoleh persamaan regresi yang mengacu pada bentuk umum regresi linear pada Persamaan (2.1), yaitu y = ax+b. Hasil regresi dari data kalibrasi sensor MQ-135 menghasilkan persamaan:

$$y = -0{,}1421x + 3{,}7533$$

dengan:

y = Rasio resistansi sensor $\left(\frac{R_s}{R_o}\right)$

x = Konsentrasi NH_3 (ppm)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NH_3 diikuti dengan penurunan nilai rasio Rs/Ro. Nilai Gradien (*Slope*) sebesar -0,1421 menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara konsentrasi NH_3 dan rasio resistansi sensor.

Selain menghasilkan persamaan regresi, Microsoft Excel juga menghasilkan nilai koefisien determinasi sebesar :

$$R^2 = 0{,}9635$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa 96,35% variasi nilai Rs/Ro pada data pengujian dapat dijelaskan oleh perubahan konsentrasi NH_3 berdasarkan model regresi yang diperoleh. Sisa variasi sebesar 3,65% dapat dipengaruhi oleh faktor lain, seperti fluktuasi pembacaan sensor, toleransi komponen elektronik, karakteristik sensor, dan kondisi lingkungan pengujian. Nilai R^2 yang mendekati satu menunjukkan bahwa model regresi memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap data hasil pengujian. Model tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar konversi pembacaan sensor pada sistem *monitoring*.

Persamaan regresi hasil kalibrasi pada awalnya menyatakan hubungan antara konsentrasi NH_3 dan rasio Rs/Ro yaitu:

$$\frac{R_s}{R_o} = -0{,}1421(NH_3) + 3{,}7533$$

Persamaan tersebut kemudian disusun kembali untuk memperoleh konsentrasi NH_3 sebagai variabel keluaran sistem :

$$NH_3 = \frac{3{,}7533 - \left(\frac{R_s}{R_o}\right)}{0{,}1421}$$

Persamaan tersebut kemudian diimplementasikan ke dalam program ESP32 sehingga nilai Rs/Ro yang diperoleh dari pembacaan sensor dapat dikonversi menjadi estimasi konsentrasi NH_3 secara otomatis.

```

const float MQ135_R0 = 2.625f;
const float MQ135_VC = 5.0f;
const float MQ135_RL = 10.0f;
const float NH3_REG_SLOPE = -0.1421f;
float baselineNH3 = 3.753f;

// Menghitung resistansi sensor (Rs)
float hitungRsMQ135(float voltage)
{
    return ((MQ135_VC * MQ135_RL) / voltage) - MQ135_RL;
}

// Mengubah rasio Rs/Ro menjadi konsentrasi NH3 (ppm)
float hitungNH3DariRatio(float ratio)
{
    return (ratio - baselineNH3) / NH3_REG_SLOPE;
}

// Potongan kode pada fungsi updateMQ135()
ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);

int16_t adc = ads.readADC_SingleEnded(MQ135_ADS_CHANNEL);
float voltage = adc * MQ135_ADS_LSB_MV / 1000.0f;

float rs = hitungRsMQ135(voltage);
float ratio = rs / MQ135_R0;

// Implementasi persamaan regresi linear
float nilaiNH3 = hitungNH3DariRatio(ratio);
```

Gambar 4. 7 Persamaan Regresi Linear pada Program ESP32

Sebagai contoh, apabila hasil pembacaan sensor menghasilkan nilai:

$$\frac{R_s}{R_o}=3{,}60$$

maka konsentrasi NH_3 dihitung sebagai berikut.

$$NH_3=\frac{3{,}7533-3{,}60}{0{,}1421}$$

$$NH_3=\frac{0,1533}{0,1421}$$

NH_3=1,08 ppm

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa proses konversi menggunakan persamaan regresi mampu menghasilkan estimasi konsentrasi amonia secara langsung berdasarkan nilai rasio resistansi sensor.

4.2.2 Kalibrasi Sensor Ph 4502C

Proses kalibrasi dilakukan menggunakan beberapa larutan dengan nilai pH berbeda yang telah divalidasi menggunakan pH meter sebagai alat ukur referensi. Sensor pH-4502C dihubungkan dengan modul ADS1115 untuk memperoleh pembacaan tegangan dengan resolusi 16-bit. Probe sensor dibersihkan menggunakan air destilasi sebelum digunakan pada larutan berikutnya untuk mengurangi kemungkinan kontaminasi dari larutan sebelumnya.

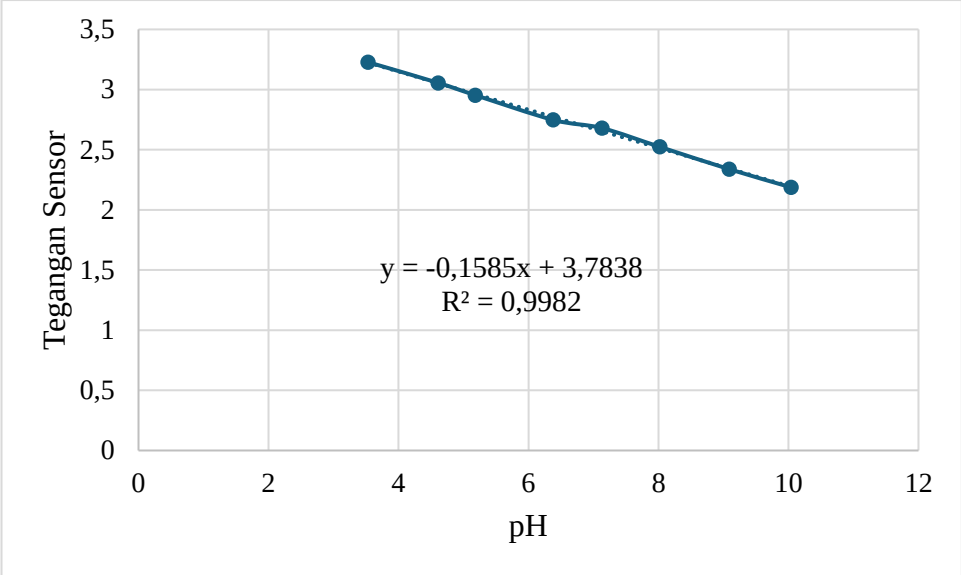
Sensor pH-4502C dan pH meter referensi ditempatkan pada larutan yang sama. Setelah pembacaan sensor mencapai kondisi relatif stabil, nilai tegangan keluaran sensor dicatat bersamaan dengan nilai pH yang ditunjukkan oleh pH meter. Pengukuran dilakukan pada beberapa larutan dengan nilai pH berbeda sehingga diperoleh pasangan data tegangan sensor dan nilai pH referensi.

Data hasil pengukuran selanjutnya diolah menggunakan metode regresi linear dengan bantuan Microsoft Excel. Hasil pengolahan digunakan untuk memperoleh persamaan regresi dan nilai koefisien determinasi (R^2). Data hasil pengukuran kalibrasi sensor pH-4502C ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Data Kalibrasi Sensor pH

Nilai pH Referensi (pH Meter)	Tegangan Sensor (Volt)
3,53	3,228
4,61	3,056
5,18	2,954
6,38	2,748
7,13	2,68
8,02	2,524
9,09	2,338
10,04	2,1874

Berdasarkan Tabel 4.3, terlihat bahwa peningkatan nilai pH diikuti dengan penurunan tegangan keluaran sensor. Tegangan tertinggi sebesar 3,228 V diperoleh pada nilai pH 3,53, sedangkan tegangan terendah sebesar 2,1874 V diperoleh pada nilai pH 10,04. Pola tersebut menunjukkan adanya hubungan linear negatif antara nilai pH dan tegangan keluaran sensor. Data pada Tabel 4.3 selanjutnya diolah menggunakan Microsoft Excel dengan metode regresi linear. Nilai pH referensi digunakan sebagai variabel bebas (x), sedangkan tegangan keluaran sensor digunakan sebagai variabel terikat (y). Hasil regresi linear ditampilkan dalam bentuk grafik *scatter plot* dengan penambahan Linear *Trendline.*



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan pH terhadap Tegangan Sensor

Berdasarkan Gambar 4.8 diperoleh persamaan regresi linear dengan mengacu pada bentuk umum regresi linear pada Persamaan (2.1), yaitu y=ax+b. Pada proses kalibrasi sensor pH-4502C, nilai pH digunakan sebagai variabel bebas (x), sedangkan tegangan keluaran sensor digunakan sebagai variabel terikat (y). Berdasarkan hasil regresi diperoleh persamaan:

V= -0,1585(pH)+3,7838

Persamaan regresi yang diperoleh dari Microsoft Excel memiliki tegangan keluaran sensor sebagai variabel terikat dan nilai pH sebagai variabel bebas. Pada implementasi sistem, nilai yang diperlukan sebagai keluaran adalah nilai pH berdasarkan tegangan yang dibaca oleh sensor. Oleh karena itu, persamaan regresi

tersebut disusun kembali secara aljabar untuk memperoleh nilai pH sebagai fungsi dari tegangan sensor. Secara umum, dari persamaan:

$$pH = \frac{V - 3{,}7838}{-0{,}1585}$$

$$pH = -\frac{V - 3{,}7838}{0{,}1585}$$

$$pH = \frac{-V+3{,}7838}{0{,}1585}$$

$$pH = \frac{-V}{0{,}1585} + \frac{3{,}7838}{0{,}1585}$$

$$pH = -\left(\frac{1}{0{,}1585}\right)V + \frac{3{,}7838}{0{,}1585}$$

$$pH = -(6{,}3091)V + 23{,}8726$$

Dengan demikian, nilai −6,3091 merupakan *slope* hasil penyusunan kembali persamaan regresi, sedangkan 23,8726 merupakan *intercept* setelah persamaan diubah sehingga nilai pH menjadi variabel keluaran. Persamaan tersebut merupakan bentuk lain dari persamaan regresi yang sama, bukan hasil regresi baru. Persamaan konversi tersebut selanjutnya diimplementasikan ke dalam program ESP32 untuk mengubah nilai tegangan hasil pembacaan sensor menjadi nilai pH secara otomatis.

```
const float PH_SLOPE = -6.3091f;
const float PH_INTERCEPT = 23.8726f;

// Mengambil sampel tegangan dari sensor pH
ads.setGain(GAIN_ONE);

int16_t adc = ads.readADC_SingleEnded(PH_ADS_CHANNEL);
float voltage = adc * PH_ADS_LSB_MV / 1000.0f;

// Menjumlahkan hasil pembacaan
phTotalVoltage += voltage;
phSampleKe++;

// Menghitung rata-rata tegangan sensor
float avgVoltage = phTotalVoltage / PH_JUMLAH_SAMPLE;

// Implementasi persamaan kalibrasi sensor pH
float nilaiPH = (PH_SLOPE * avgVoltage) + PH_INTERCEPT;
```

Gambar 4. 9 Implementasi Regresi Linier Sensor pH pada ESP32

Gambar 4.9 menunjukkan bagaimana implementasi regresi linier didalam program esp32. Sebagai contoh, apabila tegangan keluaran sensor yang telah dirata-ratakan sebesar 2,680 V, maka nilai pH dihitung menggunakan persamaan konversi yang telah diimplementasikan pada program ESP32 sebagai berikut:

pH=(-6,3091)(2,680)+23,8726

pH=-16,9084+23,8726

pH=6,96

Hasil tersebut mendekati nilai pH referensi sebesar 7,13 pada data pengujian. Perbedaan antara nilai hasil konversi dan nilai referensi menunjukkan adanya penyimpangan pembacaan sensor yang selanjutnya dapat dianalisis pada pengujian akurasi sensor. Persamaan kalibrasi tersebut digunakan pada program ESP32 untuk melakukan konversi secara otomatis. Nilai pH hasil konversi kemudian digunakan sebagai nilai pengukuran yang ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke *Dashboard* IoT Kita.

Hasil kalibrasi menunjukkan adanya hubungan linear negatif antara tegangan keluaran sensor pH-4502C dan nilai pH referensi. Berdasarkan hasil regresi linear menggunakan Microsoft Excel, diperoleh persamaan:

V= -0,1585(pH)+3,7838

dengan nilai koefisien determinasi:

R^2 = 0,9982

Nilai R^2 sebesar 0,9982 menunjukkan bahwa 99,82% variasi tegangan keluaran sensor dapat dijelaskan oleh perubahan nilai pH referensi, sedangkan 0,18% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain selama proses pengukuran. Nilai koefisien determinasi yang mendekati satu menunjukkan bahwa hubungan antara nilai pH referensi dan tegangan keluaran sensor memiliki tingkat kesesuaian yang sangat tinggi.

Persamaan hasil kalibrasi yang telah disusun kembali menjadi pH=−6,3091V+23,8726 digunakan sebagai persamaan konversi pada program ESP32. Persamaan tersebut memungkinkan tegangan keluaran sensor yang dibaca melalui modul ADS1115 dikonversi secara otomatis menjadi nilai pH.

Penggunaan modul ADS1115 memungkinkan tegangan keluaran sensor dibaca dengan resolusi yang lebih tinggi dibandingkan ADC internal ESP32. Kondisi tersebut mendukung pembacaan perubahan tegangan sensor yang relatif kecil

selama proses pengukuran. Hasil kalibrasi selanjutnya digunakan sebagai dasar pada pengujian akurasi dan kinerja sensor pH-4502C.

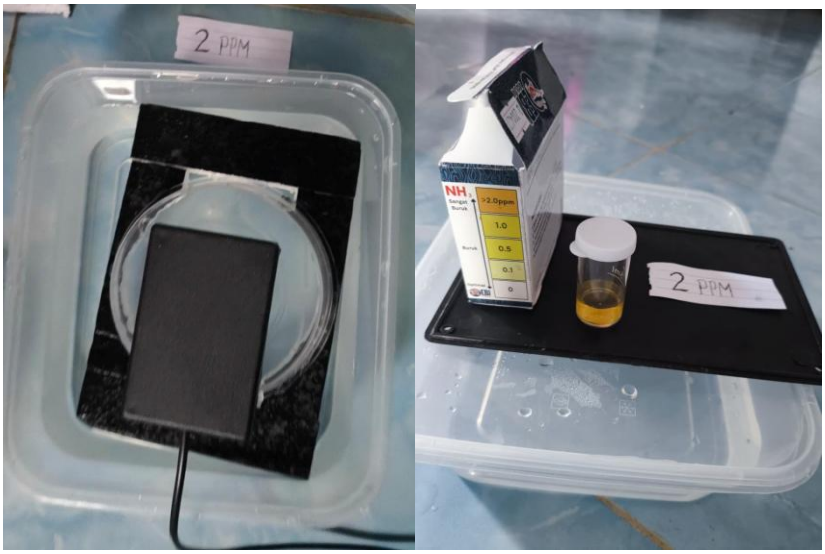
4.3 Pengujian Sensor

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja setiap komponen penyusun alat serta memastikan bahwa sistem *monitoring* kualitas air yang telah dirancang dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian masing-masing sensor, pengujian media tampilan, pengujian komunikasi data menuju *Dashboard* IoT Kita, hingga pengujian sistem secara keseluruhan.

Pada penelitian ini, parameter yang diuji meliputi akurasi sensor MQ-135 dalam mendeteksi konsentrasi amonia (NH_3), akurasi sensor pH 4502C dalam mengukur derajat keasaman air, akurasi sensor suhu DS18B20, fungsi LCD sebagai media tampilan lokal, *Buzzer* sebagai alarm peringatan dini, komunikasi data menuju *Dashboard* IoT Kita menggunakan jaringan Wi-Fi, serta pengujian catu daya yang terdiri atas modul IP5306 dan YX850 sebagai sistem catu daya cadangan (*backup power*). Seluruh hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan parameter galat (*Error*), persentase kesalahan, serta tingkat akurasi sehingga diperoleh gambaran mengenai performa sistem yang telah dikembangkan.

4.3.1 Pengujian Sensor MQ-135

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan dan akurasi pembacaan konsentrasi gas amonia (NH_3) setelah diterapkan persamaan kalibrasi regresi linear. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil



Gambar 4. 10 Proses Pengujian Sensor MQ-135

pembacaan sensor dengan nilai konsentrasi NH_3 yang diperoleh dari alat ukur referensi. Prosedur pengujian dilakukan sesuai dengan tahapan yang telah dijelaskan pada Bab III.

Gambar 4.10 menunjukkan proses pengujian sensor MQ-135, Hasil pengujian sensor MQ-135 ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sensor MQ-135

No	NH_3 Referensi (ppm)	MQ-135 (ppm)	Selisih (ppm)	*Error*	*Error* (%)	Akurasi (%)
1	0	0,11	0,11	-	-	-
2	1	0,78	0,22	0,22	22	78
3	2	2,11	0,11	0,055	5,50	94,5
Rata-rata				0,1375	13,75	86,25

Data kesalahan (*Error*) yang diperoleh dari hasil pengujian sensor MQ-135 pada Tabel 4.4 merupakan hasil perbandingan antara pembacaan sensor MQ-135 dengan alat ukur referensi yaitu amonia tes kit. Nilai kesalahan tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat penyimpangan pembacaan sensor terhadap nilai sebenarnya.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4,dilakukan perhitungan persentase *Error*, dikarenakan pada pengujian pertama nilai dari pengukuran alat referensi adalah 0, maka perhitungan dilakukan menggunakan data pengujian kedua menggunakan persamaan (3.4), diketahui:

Pembacaan alat referensi = 1 ppm

Pembacaan sensor MQ-135 = 0,78 ppm

Sehingga diperoleh nilai *Error* sebagai berikut

$$Error = \frac{X_{referensi} - X_{sensor}}{X_{referensi}}$$

$$Error = \frac{1 - 0,78}{1}$$

$$Error = 0,22$$

Presentase *Error* dihitung menggunakan persamaan (3.5) sebagai berikut:

$$Error\,(\%) = \frac{X_{referensi} - X_{sensor}}{X_{referensi}} \times 100\%$$

$$Error\,(\%) = \frac{1 - 0,78}{1} \times 100\%$$

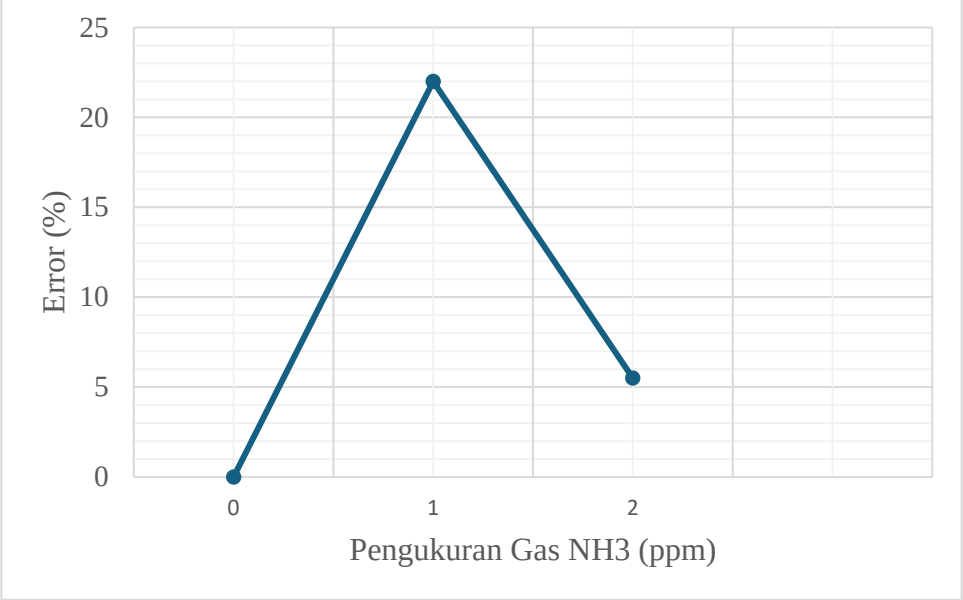
$$Error = 22\%$$

Rata-rata presentase *Error* dihitung menggunakan persamaan (3.6) sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata } Error\,(\%) = \frac{\sum Error}{n} \times 100\%$$

$$\text{Rata-rata } Error\,(\%) = \frac{0,275}{2} \times 100\%$$

$$\text{Rata-rata } Error\,(\%) = 13,75\%$$



Gambar 4. 11 Grafik Presentase *Error* Sensor MQ-135

Gambar 4.11 menunjukkan grafik presentase *Error* pada pengukuran gas NH3 yg dilakukan oleh sensor MQ-135, Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh rata-rata kesalahan pembacaan sensor MQ-135 sebesar 0,1375 atau 13,75%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa selisih antara hasil pembacaan sensor dengan alat referensi cukup besar, sehingga sensor belum mampu memberikan hasil pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya. Meskipun demikian, sensor MQ-135 masih dapat digunakan sebagai indikator perubahan konsentrasi gas NH3, dengan demikian, sensor lebih sesuai digunakan sebagai sistem pemantauan dan peringatan dini dari pada alat ukur dengan ketelitian tinggi.

Setelah diperoleh nilai *Error*, selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat akurasi sensor MQ-135 menggunakan persamaan (3.7) sebagai berikut.

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\ \% - \textit{Error}\ (\%)$$

Berdasarkan data pengujian kedua diperoleh:

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\ \% - 22\%$$

$$\text{Akurasi}(\%) = 78\ \%$$

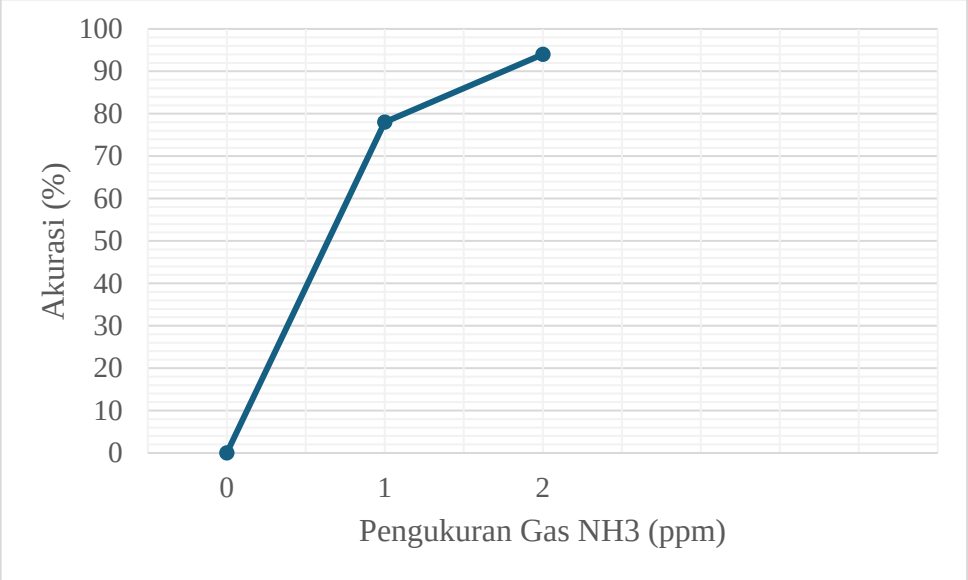
Selanjutnya rata-rata tingkat akurasi sensor dihitung menggunakan persamaan (3.8).

$$\text{Rata-rata Akurasi} = \frac{\sum \text{Akurasi}}{n}$$

Sehingga diperoleh:

$$\text{Rata-rata Akurasi} = \frac{78{,}00+94{,}50}{2}$$

$$\text{Rata-rata Akurasi} = 86{,}25\%$$



Gambar 4. 12 Grafik Tingkat Akurasi Sensor MQ-135

Gambar 4.12 menunjukkan grafik Akurasi pembacaan sensor MQ-135 terhadap gas NH3,Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh rata-rata tingkat akurasi sensor MQ-135 sebesar 86,25%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor MQ-135 memiliki tingkat akurasi yang cukup dalam mendeteksi konsentrasi gas amonia.

Sensor juga di uji tingkat presisinya untuk mengetahui seberapa stabil pembacaan dari sensor, data uji presisi dapat dilihat pada tabel 4.5 :

Tabel 4. 5 Data Pengujian Presisi Sensor

NH_3 Referensi (ppm)	**Pembacaan MQ-135 (ppm)**
1	0,657
1	0,840
1	1,093
1	0,755
1	0,544
Rata-rata	0,778

Pengujian presisi dilakukan dari 5 pengukuran, akan dihitung menggunakan persamaan (3.9).

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

Maka :

$$SD = \sqrt{\frac{0{,}1729948}{4}}$$

$$SD = 0{,}20796 \text{ ppm}$$

Tingkat presisi sensor MQ-135 dinyatakan dalam bentuk Relative Standard Deviation (RSD). Perhitungan RSD dilakukan untuk membandingkan nilai standar deviasi terhadap nilai rata-rata hasil pengukuran menggunakan persamaan (3.10).

$$RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$RSD = 26{,}74\%$$

Nilai RSD menunjukkan bahwa penyebaran hasil pengukuran sensor MQ-135 terhadap nilai rata”nya sebesar 26,74% , semakin kecil nilai RSD maka semakin tinggi nilai tingkat presisi sensor. Perbedaan hasil pengukuran antara sensor MQ-135 dengan alat referensi cukup besar, sehingga sensor dapat digunakan sebagai komponen pendeteksi kadar amonia untuk peringatan dini, bukan sebagai alat ukur presisi tinggi pada sistem *monitoring* kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT).

4.3.2 Pengujian Sensor pH 4502C

Pengujian sensor pH 4502C dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan (*Error*) dan akurasi pembacaan sensor setelah diterapkan persamaan kalibrasi hasil regresi linear pada mikrokontroler ESP32. Hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur referensi berupa digital pH meter untuk mengetahui tingkat penyimpangan pembacaan sensor terhadap nilai pH referensi. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sensor pH 4502C dalam mengukur derajat keasaman air pada sistem *monitoring* kualitas air secara *real-time*.

Prosedur pengujian sensor pH 4502C mengacu pada tahapan pengujian yang telah dijelaskan pada Bab III.



Gambar 4. 13 Proses Pengujian Sensor pH 4502C

Gambar 4.13 menunjukkan proses pengujian dari sensor pH 4502C, Hasil pengujian sensor pH di ditunjukkan pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Sensor Ph4502c

No	**pH Meter**	**Sensor pH**	**Selisih**	***Error***	***Error* (%)**	**Akurasi (%)**
1	3,57	3,53	0,04	0,0112	1,12	98,88
2	7,60	7,69	0,09	0,0118	1,18	98,82
3	8,45	8,45	0	0	0	100
4	10,25	10,33	0,08	0,0078	0,78	99,22
Rata-rata			0,0525	0,0077	0,77	99,23

Data pada Tabel 4.6 menunjukkan adanya selisih pembacaan antara sensor pH 4502C dengan digital pH meter pada setiap pengujian. Selisih pembacaan yang diperoleh relatif kecil sehingga menunjukkan bahwa persamaan regresi linear hasil kalibrasi mampu meningkatkan ketelitian sensor dalam mengukur nilai pH. Nilai selisih tersebut kemudian digunakan untuk menghitung *Error* dan tingkat akurasi sensor.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.6, Dalam menentukan nilai *Error* sensor pH 4502C digunakan persamaan (3.4)

$$Error = \frac{X_{referensi} - X_{sensor}}{X_{referensi}}$$

Pembacaan digital Ph meter = 3,57 ppm

Pembacaan sensor pH = 3,53 ppm

Sehingga diperoleh nilai *Error* sebagai berikut

$$Error = \frac{3,57 - 3,53}{3,57}$$

$$Error = 0,0112$$

Presentase *Error* dihitung menggunakan persamaan (3.5) sebagai berikut:

$$Error\,(\%) = \frac{X_{referensi} - X_{sensor}}{X_{referensi}} \times 100\%$$

$$Error\,(\%) = \frac{3,57 - 3,53}{3,57} \times 100\%$$

$$Error = 1,12\ \%$$

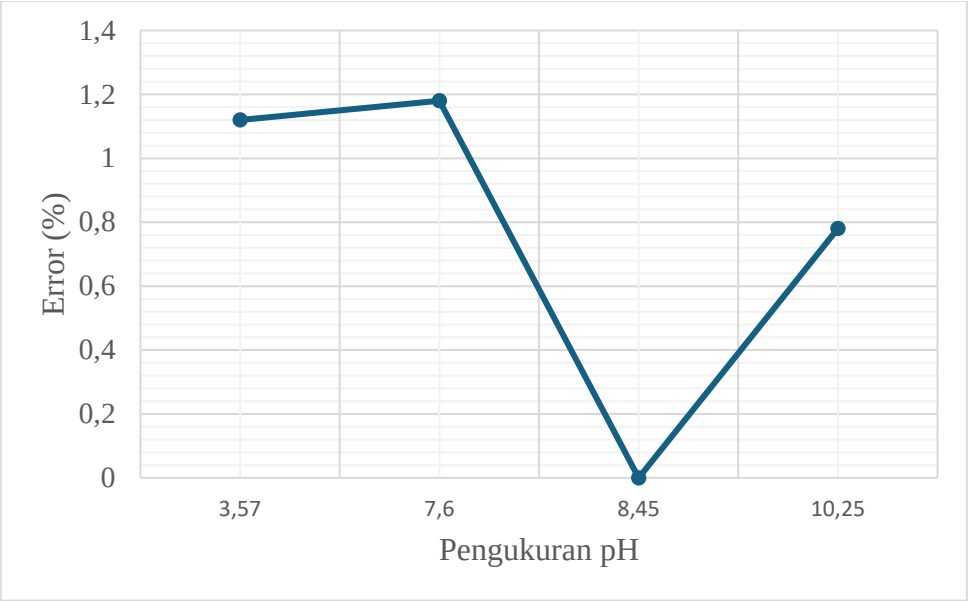
Dalam menentukan rata-rata presentase *Error* digunakan persamaan (3.6) sebagai berikut.

$$\text{Rata-rata } Error = \frac{\sum Error}{n} \times 100\%$$

$$\text{Rata-rata } Error\,(\%) = \frac{0,0112 + 0,0118 + 0 + 0,0078}{4} \times 100\%$$

$$\text{Rata-rata } Error\,(\%) = 0,77\ \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas diperoleh rata-rata persentase *Error* pembacaan sensor pH sebesar 0,77%**.**



Gambar 4. 14 Grafik Presentase *Error* Sensor pH4502C

Gambar 4.14 menampilkan nilai persentase *Error* pada setiap pengujian sehingga dapat diketahui konsistensi pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi. Seluruh nilai *Error* berada di bawah 2%, menunjukkan bahwa penyimpangan hasil pengukuran relatif kecil.

Setelah diperoleh nilai *Error*, selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat akurasi sensor PH menggunakan persamaan (3.7) sebagai berikut.

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\ \% - \textit{Error}\ (\%)$$

Berdasarkan data pengujian pertama diperoleh:

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\ \% - 1{,}12\ (\%)$$

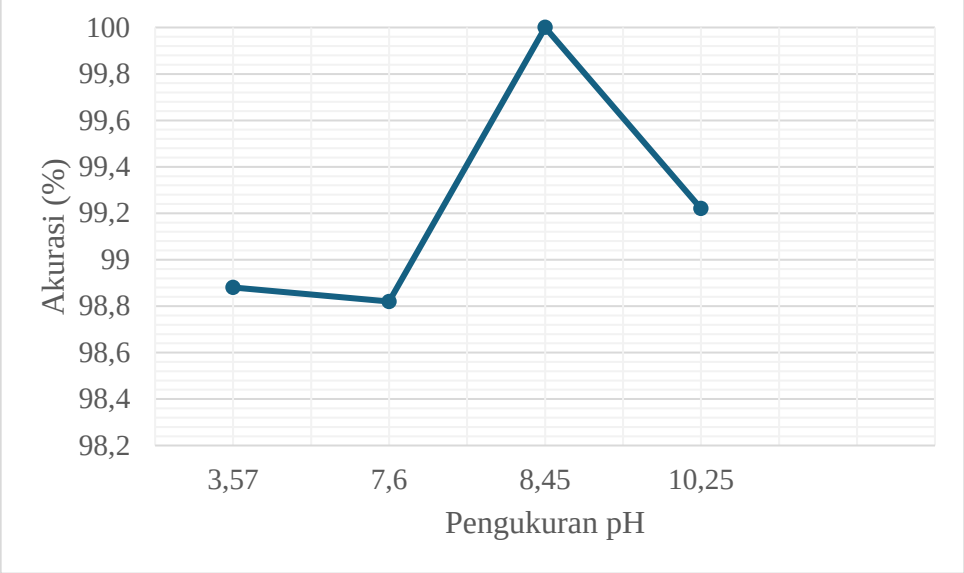
$$\text{Akurasi}(\%) = 98{,}88\ \%$$

Selanjutnya rata-rata tingkat akurasi sensor dihitung menggunakan persamaan (3.8) sebagai berikut.

$$\text{Rata-rata Akurasi} = \frac{\sum \text{Akurasi}}{\text{n}} \times 100\%$$

$$\text{Rata-rata Akurasi} = \frac{1{,}12 + 1{,}18 + 0 + 0{,}78 + 0{,}77}{4}$$

$$\text{Rata-rata Akurasi} = 99{,}23\%$$



Gambar 4. 15 Grafik Tingkat Akurasi Sensor pH4502C

Gmabar 4.15 menunjukkan bahwa tingkat akurasi setiap pengujian berada pada rentang 98,00% hingga 100%, sehingga performa sensor relatif stabil pada seluruh sampel pengujian. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.6 diperoleh bahwa sensor pH 4502C mampu mengukur nilai pH dengan tingkat ketelitian yang tinggi setelah diterapkan persamaan regresi linear hasil kalibrasi. Nilai *Error* pada lima kali pengujian berada pada rentang 0 % hingga 1,18%, sedangkan tingkat akurasi berada pada rentang 98,00% hingga 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses kalibrasi menggunakan metode regresi linear berhasil mengurangi penyimpangan pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi.

Rata-rata persentase *Error* sebesar 0,77% menunjukkan bahwa pembacaan sensor memiliki penyimpangan yang sangat kecil dibandingkan digital pH meter. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan nilai pH yang diperoleh dari proses kalibrasi telah mampu merepresentasikan karakteristik sensor secara baik. Selain itu, penggunaan modul ADS1115 sebagai konverter analog ke digital dengan resolusi 16-bit turut meningkatkan ketelitian pembacaan tegangan sehingga proses konversi menuju nilai pH menjadi lebih presisi.

Sensor juga di uji tingkat presisinya untuk mengetahui seberapa stabil pembacaan dari sensor, data uji presisi dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Data Pengujian Presisi Sensor pH 4502c

pH Referensi (pH Meter)	Pembacaan Sensor pH 4502c
7,60	7,62
7,60	7,70
7,60	7,68
7,60	7,69
7,60	7,70
Rata-rata	7,678

Pengujian presisi dilakukan dari 5 pengukuran, akan dihitung menggunakan rumus Standar Deviasi (SD) dengan persamaan (3.9) sebagai berikut :

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

$$SD = \sqrt{\frac{0{,}004484}{4}}$$

$$SD = 0{,}03347$$

Tingkat presisi sensor pH 4502c dinyatakan dalam bentuk *Relative Standard Deviation* (RSD). Perhitungan RSD dilakukan untuk membandingkan nilai standar deviasi terhadap nilai rata-rata hasil pengukuran, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (3.10) sebagai berikut:

$$RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$RSD = 0{,}436\%$$

Nilai RSD menunjukkan bahwa penyebaran hasil pengukuran sensor pH 4502c terhadap nilai rata”nya sebesar 0,436% , semakin kecil nilai RSD maka semakin tinggi nilai tingkat presisi sensor. Perbedaan hasil pengukuran antara sensor pH 4502c dengan alat referensi sangat dekat, sehingga sensor cukup layak digunakan sebagai komponen pendeteksi pH untuk peringatan dini pada sistem *monitoring* kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT).

Meskipun masih terdapat selisih pembacaan pada setiap pengujian, perbedaan tersebut masih berada dalam batas toleransi sensor pH analog. Penyimpangan yang terjadi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain karakteristik elektroda sensor, waktu stabilisasi saat sensor dicelupkan ke dalam sampel, perubahan suhu larutan, serta adanya gangguan (*noise*) pada sinyal analog. Faktor-faktor tersebut

merupakan karakteristik umum pada sensor pH berbasis elektroda dan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pengukuran.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian diperoleh rata-rata tingkat akurasi sebesar 99,13%, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor pH 4502C telah mampu memberikan hasil pengukuran yang sangat mendekati alat ukur referensi. Dengan tingkat akurasi tersebut, sensor pH layak digunakan sebagai komponen utama dalam sistem *monitoring* kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan.

4.3.3 Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dan presisi sensor dalam mengukur suhu air. Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DS18B20 dengan termometer digital yang telah dikalibrasi sebagai alat ukur referensi. Hasil pembacaan sensor kemudian dianalisis berdasarkan nilai *Error* dan tingkat akurasi untuk mengetahui tingkat penyimpangan pembacaan sensor terhadap nilai referensi.

Selain pengujian akurasi, dilakukan pengujian presisi melalui pengukuran berulang pada kondisi pengujian yang sama. Hasil pengukuran berulang digunakan untuk menghitung *Standard Deviation* (SD) dan *Relative Standard Deviation* (RSD) sebagai parameter untuk mengetahui tingkat konsistensi pembacaan sensor. Prosedur pengujian sensor suhu DS18B20 mengacu pada tahapan pengujian yang telah dijelaskan pada Bab III.



Gambar 4. 16 Proses Pengujian Sensor DS18B20

Gambar 4.16 menunjukkan proses pengujian sensor DS18B20 terhadap termometer digital, hasil pengujian sensor suhu DS18B20 ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Sensor Suhu DS18B20

No	Termometer Digital (°C)	DS18B20 (°C)	Selisih (°C)	*Error*	*Error* (%)	Akurasi (%)
1	20,1	19,5	0,6	0, 029	2,99	97,01
2	25,1	25,3	0,2	0,0080	0,80	99,20
3	26,1	26,6	0,5	0,0192	1,92	98,08
4	38,9	39,2	0,3	0,0077	0,77	99,23
Rata-rata			0,4	0,0162	1,62	98,38

Data pada Tabel 4.8 menunjukkan adanya selisih pembacaan antara sensor suhu DS18B20 dan termometer digital pada setiap pengujian. Selisih pembacaan yang diperoleh relatif kecil sehingga menunjukkan bahwa sensor mampu mengukur suhu air dengan baik. Nilai selisih tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai *Error* dan tingkat akurasi sensor.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.8, perhitungan *Error* dilakukan menggunakan data pengujian pertama, diketahui:

Pembacaan termometer digital = 20,1 °C

Pembacaan sensor DS18B20 = 19,5 °C

Sehingga nilai *Error* diperoleh menggunakan persamaan (3.4) sebagai berikut

$$Error = \frac{X_{referensi} - X_{sensor}}{X_{referensi}}$$

$$Error = \frac{20,1 - 19,5}{20,1}$$

$$Error = 0,0299$$

Presentase *Error* dihitung menggunakan persamaan (3.5) sebagai berikut:

$$Error\,(\%) = \frac{X_{referensi} - X_{sensor}}{X_{referensi}} \times 100\%$$

$$Error\,(\%) = = \frac{20,1 - 19,5}{20,1} \times 100\%$$

$$Error = 2,99\ \%$$

Dalam menentukan rata-rata presentase *Error* digunakan persamaan (3.6) sebagai berikut:

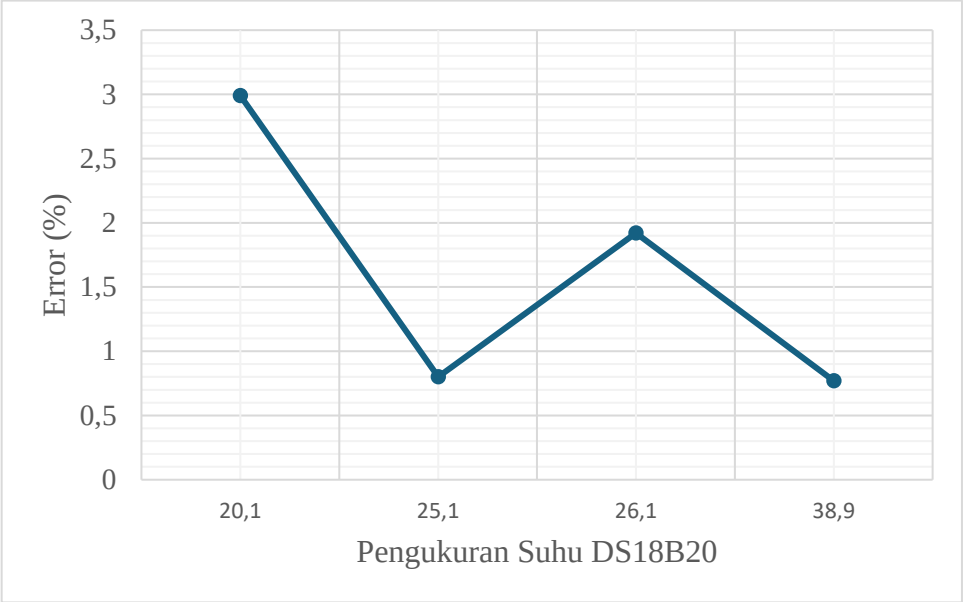
$$\text{Rata-rata } Error = \frac{\sum Error}{n} \times 100\%$$

:

$$\text{Rata-rata } \textit{Error}\,(\%) = \frac{0{,}0299 + 0{,}0080 + 0{,}0192 + 0{,}0077}{4} \times 100\%$$

$$\text{Rata-rata } \textit{Error}\,(\%) = 1{,}62\ \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas diperoleh rata-rata persentase *Error* pembacaan sensor suhu DS18B20 sebesar 1,62%



Gambar 4. 17 Grafik Presentase *Error* Sensor DS18B20

Gambar 4.17 menampilkan persentase *Error* pada setiap pengujian. Nilai *Error* berada di bawah 5%, menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat kestabilan pembacaan yang sangat baik. Setelah diperoleh nilai *Error*, selanjutnya dilakukan perhitungan tingkat akurasi sensor DS18B20 menggunakan persamaan (3.7) sebagai berikut.

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\ \% - \textit{Error}\,(\%)$$

Berdasarkan data pengujian pertama diperoleh:

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\ \% - 2{,}99\ \%$$

$$\text{Akurasi}(\%) = 97{,}01\ \%$$

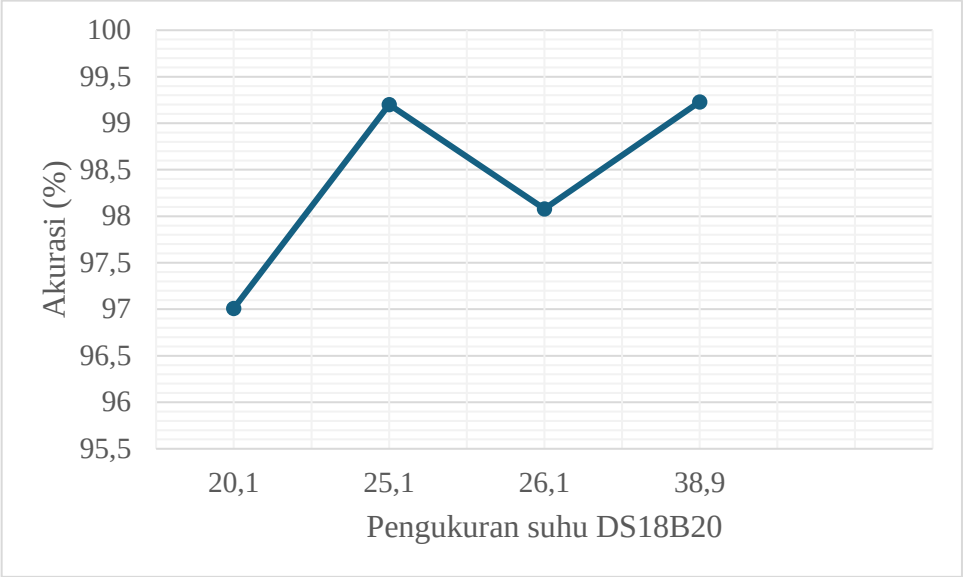
Selanjutnya rata-rata tingkat akurasi sensor dihitung menggunakan persamaan (3.8) sebagai berikut.

$$\text{Rata-rata Akurasi} = \frac{\sum \text{Akurasi}}{\text{n}} \times 100\%$$

$$\text{Rata-rata Akurasi} = \frac{97{,}01 + 99{,}20 + 98{,}08 + 99{,}23}{4} \times 100\%$$

Rata-rata Akurasi = 98,38%

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor suhu DS18B20 memiliki tingkat akurasi rata-rata sebesar 98,38%



Gambar 4. 18 Grafik Tingkat Akurasi Sensor Suhu DS18B20

Gambar 4.18 menunjukkan bahwa tingkat akurasi setiap pengujian berada pada rentang 97% hingga 99,38%, sehingga performa sensor relatif stabil selama proses pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.8 diperoleh bahwa sensor suhu DS18B20 mampu mengukur suhu air dengan tingkat ketelitian yang sangat baik. Selama lima kali pengujian, nilai *Error* berada pada rentang 0,77% hingga 2,99%, sedangkan tingkat akurasi berada pada rentang 97,01% hingga 99,38%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembacaan sensor memiliki kesesuaian yang tinggi terhadap hasil pengukuran termometer digital sebagai alat ukur referensi.

Rata-rata persentase *Error* sebesar 1,62% menunjukkan bahwa penyimpangan pembacaan sensor terhadap alat referensi tergolong sangat kecil. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik sensor DS18B20 yang memiliki resolusi pengukuran sebesar 0,0625 °C serta komunikasi digital menggunakan protokol One-Wire, sehingga pembacaan suhu tidak dipengaruhi oleh gangguan (noise) yang umumnya terjadi pada sensor analog. Selain itu, komunikasi digital antara sensor dan ESP32 mampu menjaga integritas data selama proses akuisisi sehingga menghasilkan pembacaan suhu yang konsisten.

Sensor juga di uji tingkat presisinya untuk mengetahui seberapa stabil pembacaan dari sensor, data uji presisi dapat dilihat pada tabel 4.9 :

Tabel 4. 9 Data Pengujian Presisi Sensor DS18B20

Suhu Referensi (Thermometer)	**Pembacaan Sensor DS18B20**
26,1	26,6
26,1	26,5
26,1	26,6
26,1	26,4
26,1	27
Rata-rata	26,62

Pengujian presisi dilakukan dari 5 pengukuran, akan dihitung menggunakan rumus Standar Deviasi (SD) dengan persamaan (3.9) sebagai berikut :

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

$$SD = \sqrt{\frac{0,208}{4}}$$

$$SD = 0,228\ °C$$

Tingkat presisi sensor DS18B20 dinyatakan dalam bentuk *Relative Standard Deviation* (RSD). Perhitungan RSD dilakukan untuk membandingkan nilai standar deviasi terhadap nilai rata-rata hasil pengukuran, persamaan (3.10) digunakan sebagai berikut :

$$RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100\%$$

$$RSD = 0,857\%$$

Perbedaan hasil pengukuran yang masih muncul pada beberapa pengujian dapat dipengaruhi oleh waktu respons sensor (*response time*), distribusi suhu di dalam sampel air yang belum sepenuhnya homogen, serta toleransi spesifikasi sensor terhadap perubahan suhu. Namun demikian, selisih pengukuran maksimum yang diperoleh hanya sebesar 0,6 °C, sehingga masih berada dalam batas toleransi spesifikasi sensor DS18B20.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian diperoleh rata-rata tingkat akurasi sebesar 98,38%, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor suhu DS18B20 memiliki performa yang sangat baik dan layak digunakan sebagai komponen pengukur suhu pada sistem *monitoring* kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan. Nilai akurasi yang tinggi juga menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan data suhu yang andal sebagai salah satu parameter pendukung dalam pemantauan kualitas air secara *real-time*.

4.4 Pengujian Fungsional Sistem

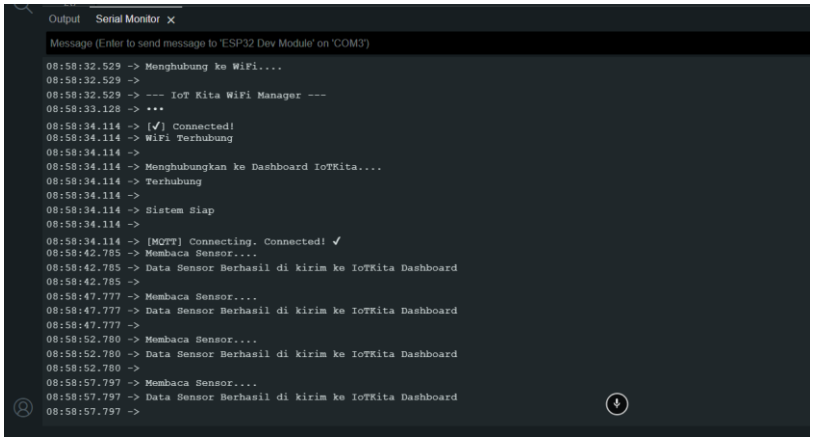
Pengujian fungsional dilakukan untuk mengetahui apakah setiap komponen penyusun sistem mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang pada tahap implementasi. Berbeda dengan pengujian akurasi yang bertujuan mengevaluasi tingkat ketelitian sensor, pengujian fungsional difokuskan pada keberhasilan operasi setiap komponen dalam menjalankan tugasnya sebagai bagian dari sistem *monitoring* kualitas air.

Pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari mikrokontroler ESP32, media tampilan LCD, *Dashboard* IoT Kita, *Buzzer* sebagai sistem peringatan dini, hingga sistem catu daya cadangan (*backup power*). Hasil pengujian pada tahap ini menjadi dasar bahwa seluruh perangkat telah berfungsi dengan baik sebelum dilakukan proses kalibrasi dan analisis akurasi sensor

4.4.1 Pengujian ESP32

ESP32 merupakan pusat pengendali pada sistem *monitoring* kualitas air yang dikembangkan. Seluruh proses pembacaan sensor, pengolahan data, pengambilan keputusan, hingga komunikasi dengan *Dashboard* IoT Kita dikendalikan oleh mikrokontroler ini. Oleh karena itu, pengujian terhadap ESP32 merupakan tahap awal yang sangat penting sebelum sistem diuji secara keseluruhan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa ESP32 mampu menjalankan program yang telah dibuat pada Arduino IDE, melakukan inisialisasi seluruh perangkat keras yang terhubung, terhubung ke jaringan Wi-Fi, berkomunikasi dengan *Dashboard* IoT Kita dan mengirimkan data hasil pembacaan sensor secara *real-time*. Pengujian dilakukan menggunakan langkah-langkah berikut.

a. Menghubungkan ESP32 dengan komputer menggunakan kabel USB.
b. Mengunggah (*upload*) program ke mikrokontroler melalui Arduino IDE.
c. Menyalakan sistem.
d. Membuka Serial Monitor pada Arduino IDE.
e. Mengamati proses booting ESP32.
f. Mengamati status koneksi Wi-Fi.
g. Mengamati status koneksi *Dashboard* IoT Kita.
h. Memastikan data sensor mulai dikirim secara berkala.



Gambar 4. 19 proses inisialisasi sistem

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa ESP32 berhasil melakukan proses *booting* dan menjalankan seluruh tahapan inisialisasi sistem tanpa mengalami kesalahan (*Error*). Setelah memperoleh catu daya, ESP32 terlebih dahulu menginisialisasi komunikasi dengan sensor, LCD, serta modul ADS1115. Selanjutnya perangkat melakukan koneksi ke jaringan Wi-Fi menggunakan parameter SSID dan kata sandi yang telah ditentukan pada program.

Setelah koneksi internet berhasil diperoleh, ESP32 melakukan autentikasi ke *Dashboard* IoT Kita melalui pustaka (*library*) IoTKita yang digunakan pada penelitian ini. Proses autentikasiyang berhasil ditunjukkan oleh munculnya status Connected pada Serial Monitor serta tampilnya data sensor pada *Dashboard*.

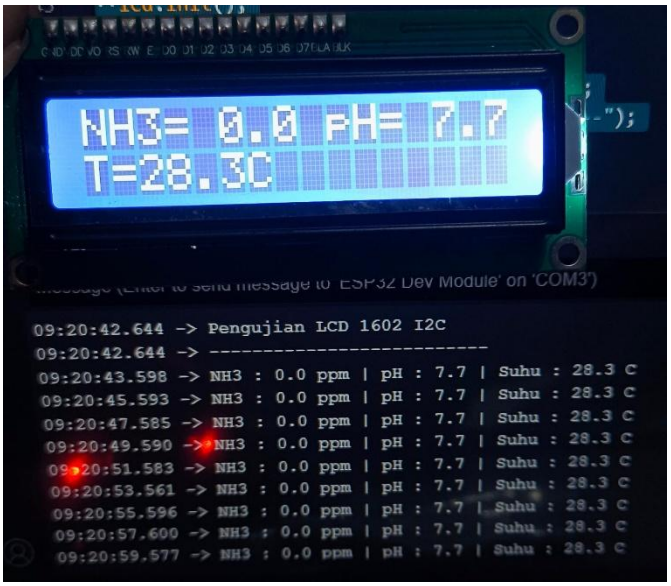
Keberhasilan pengujian ini menunjukkan bahwa ESP32 mampu menjalankan seluruh fungsi utama sebagai pusat kendali sistem, yaitu membaca data sensor, mengolah data hasil pembacaan, mengendalikan LCD dan *Buzzer*, serta mengirimkan data menuju *Dashboard* IoT Kita. Dengan demikian, ESP32 telah

memenuhi fungsi yang dirancang sebagai embedded controller pada sistem *monitoring* kualitas air.

4.4.2 Pengujian LCD 1602 12C

LCD 1602 I2C digunakan sebagai media informasi lokal yang berfungsi menampilkan hasil pembacaan sensor secara langsung. Penggunaan LCD memungkinkan pengguna mengetahui kondisi kualitas air tanpa harus membuka *Dashboard* IoT Kita. Selain itu, antarmuka I2C yang digunakan mampu mengurangi jumlah pin komunikasi sehingga proses integrasi dengan ESP32 menjadi lebih sederhana. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa LCD mampu menampilkan nilai pH, menampilkan nilai suhu, menampilkan nilai konsentrasi NH_3 dan memperbarui data secara berkala sesuai hasil pembacaan sensor. Langkah-langkah pengujian dilakukan sebagai berikut.

a. Menyalakan sistem.
b. Mengamati tampilan LCD.
c. Membandingkan nilai pada LCD dengan nilai pada Serial Monitor.
d. Memastikan perubahan data sensor langsung ditampilkan pada LCD



Gambar 4. 20 Tampilan LCD saat sistem melakukan *monitoring*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa LCD berhasil menampilkan seluruh parameter kualitas air yang dipantau pada penelitian ini. Nilai yang ditampilkan pada LCD sesuai dengan hasil pengolahan data yang dilakukan oleh ESP32 serta memiliki kesesuaian dengan data yang muncul pada Serial Monitor.

Komunikasi menggunakan antarmuka I2C berjalan dengan baik sehingga proses pembaruan data dapat dilakukan secara berkala tanpa mengganggu proses pembacaan sensor maupun komunikasi *Dashboard* IoT Kita. Penggunaan LCD lokal memberikan keuntungan bagi pengguna karena informasi kondisi kualitas air tetap dapat diketahui meskipun jaringan internet mengalami gangguan. LCD 1602 I2C berhasil menampilkan hasil pembacaan sensor secara *real-time* sehingga dapat digunakan sebagai media *monitoring* lokal pada sistem yang dikembangkan.

4.4.3 Pengujian *Dashboard* IoT Kita

Dashboard IoT Kita merupakan media *monitoring* berbasis *Internet of Things* yang digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor secara *real-time*. Pengujian *Dashboard* dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dikirim oleh ESP32 dapat diterima, disimpan, dan divisualisasikan dengan benar sehingga pengguna dapat memantau kondisi kualitas air dari lokasi yang berbeda melalui jaringan internet.

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa ESP32 berhasil terhubung dengan platform IoT Kita, data hasil pembacaan sensor berhasil dikirim ke *server*, nilai yang ditampilkan pada *Dashboard* sesuai dengan data yang diproses oleh ESP32, pembaruan data berlangsung secara *real-time* sesuai interval pengiriman yang telah ditetapkan. Langkah - langkah pengujian dilakukan sebagai berkut :

a. Menyalakan sistem dan memastikan ESP32 telah terhubung ke jaringan Wi-Fi.
b. Membuka *Dashboard* IoT Kita melalui web browser.
c. Mengamati perubahan nilai pH, suhu, dan NH_3 pada *Dashboard*.
d. Membandingkan data yang ditampilkan pada *Dashboard* dengan nilai pada LCD dan Serial Monitor.
e. Mengulangi pengamatan beberapa kali untuk memastikan kestabilan komunikasi data.



Gambar 4. 21 Tampilan *Dashboard* IoT Kita saat menerima data dari ESP32.

Berdasarkan Gambar 4.21, seluruh parameter yang ditampilkan pada LCD juga berhasil ditampilkan pada *Dashboard* IoT Kita dengan nilai yang sesuai. Hal ini menunjukkan bahwa proses komunikasi data dari ESP32 menuju *server* berjalan dengan baik. Perbedaan waktu (*delay*) antara perubahan nilai pada LCD dan *Dashboard* relatif kecil serta tidak memengaruhi fungsi *monitoring* secara *real-time*. Keberhasilan ini mengindikasikan bahwa integrasi ESP32 dengan platform IoT Kita telah berjalan sesuai rancangan. *Dashboard* IoT Kita berhasil menerima, menampilkan, dan memperbarui data hasil pembacaan sensor secara *real-time*, sehingga dapat digunakan sebagai media pemantauan jarak jauh pada sistem *monitoring* kualitas air.

4.4.4 Pengujian Sistem Peringatan dini (*Buzzer*)

Salah satu tujuan utama dari sistem *monitoring* kualitas air yang dikembangkan pada penelitian ini adalah memberikan peringatan (early warning) kepada pengguna apabila kondisi kualitas air telah berada di luar batas aman bagi ikan. Oleh karena itu, sistem dilengkapi dengan *Buzzer* sebagai aktuator yang berfungsi menghasilkan alarm suara ketika salah satu parameter kualitas air melebihi batas yang telah ditentukan.

Pada penelitian ini, *Buzzer* dikendalikan secara langsung oleh ESP32 melalui rangkaian transistor yang berfungsi sebagai *electronic switch*. Penggunaan

transistor bertujuan untuk menghindari pembebanan arus secara langsung pada pin keluaran mikrokontroler, sehingga meningkatkan keamanan rangkaian dan memperpanjang umur komponen. Ketika ESP32 mendeteksi bahwa salah satu parameter kualitas air telah berada di luar rentang aman, ESP32 akan memberikan sinyal logika *HIGH* pada basis transistor sehingga transistor berada pada kondisi saturasi dan *Buzzer* memperoleh tegangan kerja. Sebaliknya, apabila seluruh parameter masih berada dalam batas aman, transistor berada pada kondisi cut-off sehingga *Buzzer* tetap tidak aktif.

Dengan mekanisme tersebut, *Buzzer* tidak hanya berfungsi sebagai indikator adanya gangguan kualitas air, tetapi juga sebagai media peringatan dini yang memungkinkan pengguna segera melakukan tindakan korektif sebelum kondisi air menyebabkan stres atau kematian pada ikan.

Pengujian *Buzzer* dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu memberikan peringatan suara secara otomatis ketika salah satu parameter kualitas air berada di luar batas aman yang telah ditetapkan. Secara khusus, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan ESP32 dalam mengendalikan *Buzzer*, respon *Buzzer* terhadap perubahan nilai sensor, kesesuaian logika program dengan kondisi aktual, keandalan sistem peringatan dini. Pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Menyalakan sistem *monitoring*.
b. Memastikan seluruh sensor telah bekerja normal.
c. Memberikan beberapa kondisi pengujian dengan mengubah parameter kualitas air sehingga berada di dalam maupun di luar batas aman.
d. Mengamati kondisi *Buzzer* pada setiap perubahan parameter.
e. Mencatat hasil pengujian.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian *Buzzer*

No	Kondisi Sistem	Status *Buzzer*	Hasil
1	Nilai pH berada di bawah batas aman (<6,5)	Tidak aktif	Berhasil
2	Nilai pH berada di atas batas aman (>8,5)	Aktif	Berhasil
3	Nilai NH_3 berada di atas batas aman (>2 ppm)	Aktif	Berhasil
4	Nilai Suhu berada di bawah batas aman (25°)	Aktif	Berhasil
5	Nilai Suhu berada di atas batas aman (30°C)	Aktif	Berhasil
6	Semua parameter dalam batas aman pH (>6,5 & <8,5), suhu (>25°C & <30°C), Amonia (<2 ppm)	Tidak Aktif	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.10 diperoleh bahwa *Buzzer* hanya aktif ketika salah satu parameter kualitas air berada di luar rentang aman yang telah ditentukan pada program ESP32. Sebaliknya, ketika seluruh parameter masih berada dalam kondisi normal, *Buzzer* tetap berada pada kondisi tidak aktif. Hal tersebut menunjukkan bahwa logika pengambilan keputusan (*decision making*) yang diterapkan pada perangkat lunak telah berjalan sesuai dengan rancangan sistem.



Gambar 4. 22 sistem mendeteksi parameter berada di luar batas aman

Gambar 4.22 menunjukkan bahwa respon *Buzzer* yang sesuai terhadap perubahan parameter menunjukkan bahwa proses pembacaan sensor, pengolahan data, dan pengambilan keputusan berlangsung secara terpadu. Dengan kata lain, sistem tidak hanya mampu melakukan *monitoring*, tetapi juga mampu memberikan peringatan dini kepada pengguna ketika kualitas air mulai menurun.

Selain itu, penggunaan transistor sebagai saklar elektronik terbukti mampu mengendalikan *Buzzer* dengan baik. ESP32 hanya memberikan sinyal logika berarus kecil pada basis transistor, sedangkan arus utama yang dibutuhkan *Buzzer* disuplai melalui jalur kolektor-emitor. Konfigurasi ini lebih aman dibandingkan menghubungkan *Buzzer* secara langsung ke pin keluaran mikrokontroler karena mengurangi risiko kerusakan akibat beban arus yang berlebihan.

Keberhasilan sistem peringatan dini ini merupakan salah satu nilai tambah penelitian karena memungkinkan pengguna mengetahui perubahan kualitas air secara cepat tanpa harus selalu memperhatikan tampilan LCD maupun *Dashboard* IoT Kita. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *Buzzer* mampu berfungsi sesuai dengan logika yang telah diprogram. Alarm hanya aktif ketika parameter kualitas air berada di luar batas aman sehingga dapat digunakan sebagai sistem peringatan dini pada penelitian ini.

4.4.5 Pengujian Sistem *Backup* Baterai

Keandalan sistem *monitoring* tidak hanya ditentukan oleh kemampuan sensor dalam melakukan pengukuran, tetapi juga oleh kemampuan sistem untuk tetap beroperasi ketika terjadi gangguan pada sumber catu daya utama. Pada kondisi budidaya ikan, pemadaman listrik dapat menyebabkan proses *monitoring* berhenti sehingga perubahan kualitas air tidak dapat diketahui secara *real-time*. Oleh karena itu, penelitian ini dilengkapi dengan sistem *backup battery* menggunakan baterai *Lithium Polymer* yang dikombinasikan dengan modul YX850 dan modul IP5306.

Modul YX850 berfungsi sebagai rangkaian *automatic power switching* yang mengalihkan sumber daya dari adaptor menuju baterai ketika tegangan utama terputus. Selanjutnya, modul IP5306 bertugas mengatur proses pengisian baterai sekaligus menjaga kestabilan tegangan keluaran menuju ESP32. Dengan kombinasi kedua modul tersebut, sistem diharapkan mampu tetap beroperasi tanpa

memerlukan intervensi pengguna. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mempertahankan operasi alat ketika sumber listrik utama mengalami pemadaman.

Pengujian dilakukan dengan tahapan berikut.

a. Menyalakan sistem menggunakan adaptor sebagai sumber daya utama.
b. Memastikan seluruh sensor bekerja normal.
c. Memastikan data berhasil ditampilkan pada LCD dan *Dashboard* IoT Kita.
d. Melepaskan adaptor dari sumber listrik.
e. Mengamati apakah sistem tetap menyala menggunakan baterai.
f. Mengamati keberlangsungan proses *monitoring* setelah perpindahan sumber daya.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian *Backup* Baterai

No	Kondisi Pengujian	Hasil
1	Adaptor terhubung	Sistem bekerja normal
2	Adaptor dilepas	Sistem bekerja normal

Berdasarkan tabel 4.11, hasil pengujian sistem tetap mampu beroperasi setelah sumber listrik utama diputus. Perpindahan sumber daya dari adaptor menuju baterai berlangsung secara otomatis sehingga tidak menyebabkan ESP32 melakukan restart maupun kehilangan data selama proses *monitoring*.



Gambar 4. 23 Sistem Menggunakan Catu Daya dari Baterai

Gambar 4.23 menunjukkan bahwa kombinasi modul YX850 dan IP5306 berhasil menjalankan fungsi manajemen daya sesuai dengan rancangan. Selama pengujian berlangsung, seluruh sensor tetap melakukan pembacaan secara normal, LCD tetap menampilkan informasi kualitas air, dan *Dashboard* IoT Kita masih menerima pembaruan data melalui jaringan internet.

Keberhasilan sistem *backup* baterai memberikan keuntungan yang signifikan bagi aplikasi *monitoring* kualitas air, terutama pada lokasi budidaya yang memiliki risiko gangguan pasokan listrik. Dengan tetap aktifnya sistem selama pemadaman, proses pemantauan kualitas air dapat berlangsung secara kontinu sehingga potensi keterlambatan deteksi terhadap perubahan kondisi air dapat diminimalkan.

Sistem *backup* baterai berhasil mempertahankan operasi perangkat ketika sumber daya utama terputus. Perpindahan catu daya berlangsung secara otomatis tanpa mengganggu proses *monitoring* maupun komunikasi data menuju *Dashboard* IoT Kita. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan memiliki tingkat keandalan yang lebih baik dibandingkan sistem *monitoring* yang hanya mengandalkan sumber daya utama.

4.5 Pembahasan Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memantau tiga parameter, yaitu pH, suhu, dan amonia (NH_3) pada budidaya ikan nila sistem bioflok. Sistem menggunakan sensor MQ-135, sensor pH 4502C, sensor DS18B20, ESP32 sebagai pusat pengolahan data, LCD 1602 I2C sebagai tampilan lokal, *Dashboard* IoT Kita sebagai media pemantauan *real-time*, serta *Buzzer* sebagai sistem peringatan dini.

Berdasarkan hasil perancangan pada Subbab 4.1, seluruh komponen dapat diintegrasikan sesuai rancangan. ESP32 mampu membaca sensor, mengolah data, menampilkan hasil pada LCD, serta mengirimkan data melalui *Wi-Fi* menggunakan MQTT menuju *Dashboard* IoT Kita. Sensor pH 4502C dan MQ-135 dibaca melalui ADS1115 menggunakan komunikasi I^2C, sedangkan DS18B20 menggunakan protokol *One-Wire*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rancangan perangkat keras dan perangkat lunak dapat diimplementasikan sesuai dengan desain yang telah dibuat.

Pada tahap kalibrasi pada Subbab 4.2, sensor MQ-135 dan pH 4502C dikalibrasi menggunakan metode regresi linear. Hasil kalibrasi menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,9635 untuk MQ-135 dan 0,9982 untuk sensor pH 4502C. Nilai tersebut menunjukkan bahwa persamaan regresi memiliki hubungan yang kuat terhadap data kalibrasi yang digunakan dan selanjutnya digunakan untuk proses konversi hasil pembacaan sensor.

Berdasarkan pengujian akurasi dan presisi pada Subbab 4.3, sensor MQ-135 menghasilkan rata-rata akurasi sebesar 86,25% dengan *error* sebesar 13,75%. Pengujian presisi menghasilkan standar deviasi sebesar 0,208 ppm dan RSD sekitar 26,74%. Nilai RSD yang relatif besar menunjukkan bahwa pembacaan MQ-135 memiliki variasi yang lebih tinggi pada pengukuran berulang. Kondisi tersebut berkaitan dengan karakteristik MQ-135 sebagai sensor multi-gas yang sensitif terhadap beberapa jenis gas serta kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan. Oleh karena itu, nilai NH_3 yang dihasilkan sistem merupakan estimasi berdasarkan hasil kalibrasi, sehingga lebih tepat digunakan sebagai indikator perubahan konsentrasi amonia untuk kebutuhan monitoring dan peringatan dini, bukan sebagai pengukuran absolut seperti instrumen laboratorium.

Pada sensor pH 4502C, hasil pengujian menghasilkan rata-rata akurasi sebesar 99,23% dengan *error* sebesar 0,77%. Pengujian presisi menghasilkan standar deviasi sebesar 0,03347 dan RSD sekitar 0,44%. Nilai RSD yang relatif kecil menunjukkan bahwa variasi pembacaan sensor terhadap nilai rata-ratanya rendah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor pH 4502C memiliki tingkat kesesuaian dan konsistensi yang tinggi terhadap alat referensi pada kondisi pengujian yang dilakukan. Meskipun demikian, hasil pengukuran tetap dapat dipengaruhi oleh kondisi elektroda, larutan *buffer*, serta prosedur kalibrasi dan perawatan elektroda.

Pada sensor suhu DS18B20, hasil pengujian menghasilkan rata-rata akurasi sebesar 98,38% dengan *error* sebesar 1,62%. Pengujian presisi menghasilkan standar deviasi sebesar 0,228°C dan RSD sebesar 0,857%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pembacaan DS18B20 memiliki variasi yang relatif kecil pada pengukuran berulang. DS18B20 tidak menggunakan kalibrasi regresi linear karena sensor telah melalui proses *factory calibrated*, sehingga pengujian dilakukan untuk mengetahui kesesuaian pembacaan sensor terhadap termometer digital dan konsistensi hasil pengukurannya.

Berdasarkan hasil ketiga sensor tersebut, sensor pH 4502C memiliki akurasi dan konsistensi pengukuran paling tinggi, diikuti oleh DS18B20, sedangkan MQ-135 menunjukkan variasi pembacaan paling besar. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik setiap sensor memengaruhi performa pengukuran masing-masing parameter. Penggunaan ADS1115 membantu proses pembacaan sensor analog dengan resolusi 16-bit, tetapi peningkatan resolusi ADC tidak menghilangkan faktor lingkungan dan karakteristik sensor yang dapat memengaruhi hasil pengukuran, khususnya pada MQ-135.

Hasil pengujian fungsional pada Subbab 4.4 menunjukkan bahwa ESP32 dapat melakukan inisialisasi, membaca dan mengolah data sensor, LCD dapat menampilkan hasil pengukuran, dan Dashboard IoT Kita dapat menerima data melalui MQTT serta menampilkannya secara *real-time*. Buzzer juga dapat aktif ketika parameter berada di luar batas yang ditentukan, sedangkan sistem catu daya cadangan mampu menjaga perangkat tetap beroperasi sesuai skenario pengujian.

Dengan demikian, seluruh fungsi utama sistem monitoring dapat dijalankan sesuai rancangan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan, terutama pada sensor MQ-135 yang merupakan sensor multi-gas sehingga hasil pembacaannya dapat dipengaruhi oleh gas lain, suhu, dan kelembapan. Selain itu, nilai NH_3 yang dihasilkan merupakan estimasi berdasarkan persamaan regresi dan belum dapat menggantikan instrumen laboratorium untuk menentukan kadar amonia secara absolut. Pengujian juga dilakukan pada skenario *prototipe* dan kondisi kolam yang tersedia sehingga penelitian ini belum dimaksudkan untuk menggambarkan perubahan kualitas air secara kontinu dalam jangka waktu panjang.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang telah dapat diimplementasikan sebagai perangkat monitoring kualitas air berbasis IoT. Sistem mampu membaca parameter pH, suhu, dan estimasi NH_3, menampilkan data melalui LCD, mengirimkan data ke *Dashboard* IoT Kita, serta memberikan peringatan melalui *Buzzer*. Dengan demikian, sistrm yang dirancang berpotensi menjadi solusi yang efektif dan ekonomis dalam membantu pembudidaya ikan melakukan pemantauan kualitas air secara berkelanjutan.

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan pembahasan sistem *monitoring* kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) pada budidaya ikan nila sistem bioflok, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem monitoring kualitas air berbasis IoT telah berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan ESP32 sebagai pusat pengolahan data dengan parameter pH, amonia (NH_3), dan suhu. Sistem mampu melakukan pembacaan sensor, menampilkan data pada LCD 1602 I2C, mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT menuju *Dashboard* IoT Kita, serta memberikan peringatan dini melalui Buzzer ketika nilai parameter berada di luar batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa proses pembacaan dan pengolahan data sensor, tampilan LCD, pengiriman data MQTT, tampilan *Dashboard*, fungsi Buzzer, dan sistem catu daya cadangan dapat beroperasi sesuai dengan rancangan. Hasil tersebut memenuhi kebutuhan implementasi sistem monitoring multi-parameter kualitas air berbasis IoT yang dirancang dalam penelitian.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat akurasi dan presisi setiap sensor memiliki karakteristik yang berbeda. Sensor pH 4502C memiliki rata-rata akurasi tertinggi sebesar 99,23% dengan rata-rata *error* 0,77%, standar deviasi 0,03347, dan RSD 0,44%, sehingga menunjukkan tingkat konsistensi pengukuran yang tinggi. Sensor DS18B20 memiliki rata-rata akurasi sebesar 98,38% dengan rata-rata *error* 1,62%, standar deviasi 0,228°C, dan RSD 0,857%, yang menunjukkan konsistensi pengukuran yang baik. Sensor MQ-135 memiliki rata-rata akurasi sebesar 86,25% dengan rata-rata *error* 13,75%, standar deviasi 0,208 ppm, dan RSD 26,74%, sehingga menunjukkan variasi pembacaan yang paling besar dibandingkan sensor lainnya. Berdasarkan hasil tersebut, sensor pH 4502C memiliki tingkat akurasi dan konsistensi pengukuran tertinggi, diikuti oleh sensor DS18B20, sedangkan MQ-135 lebih sesuai digunakan sebagai indikator perubahan konsentrasi amonia dan dasar

pemberian peringatan dini, bukan sebagai acuan tunggal untuk menentukan kadar amonia secara absolut.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pengembangan pada penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Penggunaan sensor MQ-135 dapat diganti dengan sensor yang lebih selektif terhadap gas amonia, seperti sensor MQ-137 atau sensor amonia elektrokimia, sehingga akurasi pengukuran konsentrasi NH_3 dapat ditingkatkan.
2. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan kalibrasi sensor amonia menggunakan lebih banyak titik konsentrasi dan membandingkan hasil pengukuran dengan instrumen referensi yang memiliki tingkat ketelitian lebih tinggi, sehingga model kalibrasi yang diperoleh dapat menghasilkan estimasi konsentrasi NH_3 yang lebih akurat.
3. Sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan berbagai sensor kualitas air lainnya, seperti *dissolved oxygen* (DO), Total *Dissolved Solid* (TDS), *Electrical Conductivity* (EC), *turbidity*, dan *oxidation reduction potential* (ORP). Penambahan sensor-sensor tersebut akan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi kualitas air secara keseluruhan. Informasi yang lebih lengkap ini sangat penting karena parameter-parameter tersebut saling berkaitan dan berpengaruh terhadap kesehatan organisme budidaya, sehingga pengambilan keputusan manajemen air dapat dilakukan dengan lebih tepat dan berbasis data yang multi-parameter.
4. Pengembangan sistem selanjutnya dapat menambahkan mekanisme kendali otomatis, seperti pengaktifan aerator, pompa sirkulasi, atau sistem pergantian air berdasarkan kondisi parameter kualitas air yang telah ditentukan.
5. Pengujian sistem sebaiknya dilakukan dalam waktu yang lebih lama pada kondisi budidaya yang sebenarnya agar dapat diketahui kestabilan sensor terhadap perubahan lingkungan, seperti suhu, kelembapan udara, serta gangguan gas lain yang dapat mempengaruhi sensor MQ-135.
6. Penelitian selanjutnya juga dapat mengembangkan metode pengolahan data yang lebih adaptif, misalnya menggunakan algoritma kompensasi suhu dan

kelembapan atau pendekatan *machine learning* untuk meningkatkan akurasi estimasi konsentrasi amonia.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. Rinanto, G. F. Fausyiah, D. A. Ramadhan, and J. A. Nugrahaini, "Otomatisasi Kendali Suhu di Kolam Bioflok dalam Budidaya Ikan Nila di Kemuning Berbasis IoT," vol. V, no. 1, 2025.

[2] Z. W. Baiq, Syafaruddin, and Supriono, "Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Kualitas Air Pada Kolam Ikan Nila Berbasis Arduino," vol. 4, no. 6, pp. 3695–3704, 2024.

[3] M. Akbar and M. Rivai, "Sistem Kontrol dan *Monitoring* Kadar Amonia untuk Budidaya Ikan yang Diimplementasi pada Raspberry Pi 3B," vol. 7, no. 2, pp. 3–8, 2022.

[4] M. R. Satriawan, G. Priyandoko, and S. Setiawidayat, "*Monitoring* pH Dan Suhu Air Pada Budidaya Ikan Mas Koki Berbasis IoT," vol. 5, pp. 12–17, 2023.

[5] M. H. Hakim *et al.*, "Rancang bangun prototipe *Internet of Things* untuk *monitoring* ph air kolam ikan koi secara realtime," vol. 9, no. 2, pp. 1085–1090, 2024, doi: https://doi.org/10.29100/jipi.v9i2.5791.

[6] M. S. N. Firmansyah, N. S. Rahmi, A. Andang, M. A. K. Anshary, Aripin, and A. Romdani, "Optimalisasi Budidaya Ikan Melalui Sistem Bioflok: Pengenalan Dan Pelatihan Bagi Muda-Mudi Ancol," vol. 2, no. 2, pp. 46–55, 2025.

[7] T. Mulyono, I. Rofi, A. Y. Nurhayati, Y. C. Hariadi, and L. A. Octaviani, "*Monitoring* Ammonia Gas Using the MQ-135 Sensor for Cow Pen Health in Mrawan Village , Mayang District , Jember Regency (*Monitoring* Gas Amonia menggunakan Sensor MQ-135 untuk Kesehatan Kandang Sapi di Desa Mrawan Kecamatan Mayang Kabupaten Jember)," vol. 02, pp. 22–30, 2024, doi: https://doi.org/10.19184/instem.v2i1.757.

[8] A. Hasibuan, M. Daud, R. Andria, M. Sayuti, and I. M. A. Nrsrtha, "Design of Ammonia Gas Detection and Control Devices in Chicken Farms Based on Arduino Uno Perancangan Alat Pendeteksi Dan Pengendali Gas Amonia Pada Peternakan Ayam Berbasis Arduino Uno," no. 2, pp. 485–500, 2023, doi: 10.46574/motivection.v5i3.240 Design.

[9] R. Al Mamun, M. Ashik-e-rabbani, and M. Haque, "Smart Agricultural

Technology IoT-based *real-time* biofloc *monitoring* and controlling system," *Smart Agric. Technol.*, vol. 9, no. July, p. 100598, 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100598.

[10] A. N. J. Mohd *et al.*, "Improved accuracy in IoT-Based water quality *monitoring* for aquaculture tanks using low-cost sensors: Asian seabass fish farming Nurshahida," *Heliyon*, vol. 10, no. 8, p. e29022, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29022.

[11] R. Maulini, D. Sahlinal, and O. Arifin, "*Monitoring* of pH , Amonia (NH3) and Temperature Parameters Aquaponic Water in the 4 . 0 Revolution Era *Monitoring* of pH , Amonia (NH3) and Temperature Parameters Aquaponic Water in the 4 . 0 Revolution Era," pp. 0–10, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1012/1/012087.

[12] A. Zuhaer, A. Khandoker, N. Enayet, P. Kumar, P. Partha, and A. Awal, "Aquacultural Engineering Sustainable aquaculture : An Iot-integrated system for *real-time* water quality *monitoring* featuring advanced do and ammonia sensors," *Aquac. Eng.*, vol. 112, no. August 2025, p. 102620, 2026, doi: 10.1016/j.aquaeng.2025.102620.

[13] R. Eso, H. T. Mokui, and L. Safiuddin, "Water Quality *Monitoring* System Based on the *Internet of Things* (IoT) for Vannamei Shrimp Farming," vol. 15, no. June, pp. 53–63, 2024, doi: 10.21512/comtech.v15i1.10657.

[14] G. P. Mindara, W. Sholihah, I. Novianty, F. Marcelita, R. Siskandar, and D. Ariyanto, "Calibration of Dissolved Oxygen Sensors in IoT Systems for Water Quality *Monitoring* in Aquaculture," vol. 10, no. 3, pp. 215–230, 2025, doi: DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.103.06.

[15] H. Partaoan, Rimbawati, N. Evalina, and D. Mangopo, "SNTE-FORTEI ' Peralatan Pencegahan Kebakaran Akibat Kebocoran Tabung Gas Menggunakan Sensor MQ- 135 Berbasis IoT (*Internet of Things*),'" no. 3, pp. 238–247, 2025, doi: https://doi.org/10.46962/snte.25.107.

[16] Y. Abdullahi, I. G. Saidu, M. B. Abdullahi, and K. A. Dabai, "Development and Validation of an Ammonia (NH3) Gas Concentration Measurement Device for Industrial and Health Application," vol. X, no. 2454, pp. 212–230, 2025, doi: https://doi.org/10.51584/IJRIAS.2025.100700017.

[17] I. S. Suasana, "*Monitoring* Air Limbah Rumah Sakit Berdasarkan Kadar pH Dan Suhu Menggunakan Arduino," vol. 5, no. 1, 2023, doi: : https://doi.org/10.55606/sinov.v5i1.573.

[18] S. A. Nugroho, N. S. Budi, S. Aprilia, and F. Anindyahadi, "Perancangan Alat Ukur Kadar pH Dan Suhu," vol. 13, no. 2, 2025.

[19] I. Andriani, W. Hidayat, and Muliawan, "Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Kualitas Air Real- Time Berbasis IoT untuk Mitigasi Pencemaran Lingkungan Perkotaan," vol. 6, pp. 137–152, 2026.

[20] Y. Yudhistira, "Perekam Data Intensitas Cahaya , Suhu , dan Kelembapan Udara Berbasis IoT (*Internet of Things*) Menggunakan ESP32 dan MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)," vol. 2, no. 2, pp. 45–48, 2021.

[21] B. A. Nugroho and Y. M. Djaksana, "Implementasi Mikrokontroler Arduino Uno Dan Multi Sensor Pada Tempat Sampah," vol. 2, no. 4, pp. 70–77, 2022.

[22] L. T. Petru, M. V Tivlea, and S. Eugen, "Water Level Control and *Monitoring* System in a Tank Made with Arduino Uno and NodeMCU ESP8266 Development Boards," 2023, doi: 10.20944/preprints202304.0735.v1.

[23] T. Herly, H. Samosir, and I. Hidayat, "Perancangan Sistem *Monitoring* Volume Air Dengan Sensor Ultrasonic HC-SR04 Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno," vol. 10, no. 1, pp. 84–90, 2026, doi: https://doi.org/10.37817/ikraith-teknologi.v10i1.6092.

[24] N. Nurdiana, Emidiana, and M. S. Al Amin, "Pengembangan Sistem *Monitoring* Kualitas Air Kolam Berbasis IoT Nita," pp. 84–91, 2026.

[25] S. F. Widyadari and R. M. Sultoni, "Implementasi Sistem Kontrol dan *Monitoring* PH dan Suhu Air Pada Sistem," vol. 15, no. 1, pp. 37–46, 2026, doi: https://doi.org/10.35968/jti.v15i1.1929.

[26] A. Suwardono, F. E. Prahesti, E. M. Indrawati, and M. A. Jalil, "IoT Based Catfish Farm *Monitoring* Microcontroller and DS18B20 Sensor with," vol. 13, no. 3, pp. 508–516, 2024.

[27] V. Sirisha, R. Sai, and Y. L, "Iot-Based *Real-time* Water Quality *Monitoring* And Predictive Alert System Using Esp32," vol. 6, no. 1, pp. 340–346, 2026.

[28] S. Teleconnection, S. Sundaram, and D. M. Holland, "A Physical Mechanism for the Indian Summer Monsoon — Arctic," pp. 1–15, 2022.

[29] A. Bangkit and S. Umbu, “Analisis Grafik Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-135 Untuk Menentukan Persamaan Hubungan Antara ppm dan Rs / Ro,” vol. 11, no. 02, pp. 49–60, 2023.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Program ESP32

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <IoTKita.h>

// --- WIFI & IOT KITA ---
const char* ssid = "POCO";
const char* password = "asoy1234";
const char* apiKey =
"iotkita_c9f2912f0347da120f91e75b36df36e9599384ad79966d35";
const char* mqttHost = "broker.hivemq.com";
const char* mqttUser = "";
const char* mqttPass = "";
int mqttPort = 1883;

// --- TOPICS DASHBOARD ---
String topicNH3 = "iotkita/sensorx/mq";
String topicPH = "iotkita/unix123/sensorx/1";
String topicSuhu = "iotkita/unix123/sensorx/2";
String topicResetAlarm = "iotkita/sensorx/pb1";

// --- OBJEK UTAMA ---
Adafruit_ADS1115 ads;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
IoTKita iotkita;
Preferences preferences;

const byte I2C_SDA_PIN = 21;
const byte I2C_SCL_PIN = 22;
const byte ONE_WIRE_BUS = 27;
const byte BUZZER_PIN = 26;
const byte BUTTON_PIN = 25;

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensorSuhu(&oneWire);

// --- KONFIGURASI pH4502C ---
const byte PH_ADS_CHANNEL = 0;
const float PH_ADS_LSB_MV = 0.125f;
const int PH_JUMLAH_SAMPLE = 20;
const unsigned long PH_INTERVAL_SAMPLE = 100;
const unsigned long PH_INTERVAL_UPDATE = 2000;
```

```
const float PH_SLOPE = -6.3091f;
const float PH_INTERCEPT = 23.8726f;
unsigned long phPreviousSampleMillis = 0;
unsigned long phPreviousUpdateMillis = 0;
float phTotalVoltage = 0.0f;
int phSampleKe = 0;
float nilaiPH = 0.0f;
bool phValid = false;

// --- KONFIGURASI MQ135 NH3 ---
const byte MQ135_ADS_CHANNEL = 1;
const float MQ135_ADS_LSB_MV = 0.1875f;
const float MQ135_VC = 5.0f;
const float MQ135_RL = 10.0f;
const float MQ135_R0 = 2.625f;
const float NH3_REG_SLOPE = -0.1421f;
float baselineNH3 = 3.753f;
const float NH3_MIN_PPM = 0.0f;
const float NH3_MAX_PPM_KALIBRASI = 2.0f;
const int MQ135_JUMLAH_SAMPLE = 20;
const unsigned long MQ135_INTERVAL_SAMPLE = 500;
const unsigned long MQ135_INTERVAL_UPDATE = 10000;
unsigned long mq135PreviousSampleMillis = 0;
unsigned long mq135PreviousUpdateMillis = 0;
float mq135TotalRatio = 0.0f;
int mq135ValidSample = 0;
int mq135SampleKe = 0;
float nilaiNH3 = 0.0f;
bool nh3Valid = false;
bool nh3DiLuarKalibrasi = false;
bool tombolLama = false;
unsigned long waktuTekan = 0;
bool sedangKalibrasi = false;

// --- KONFIGURASI DS18B20 ---
const unsigned long SUHU_INTERVAL_UPDATE = 1000;
const unsigned long SUHU_WAKTU_KONVERSI = 750;
unsigned long suhuPreviousRequestMillis = 0;
bool suhuMenungguKonversi = false;
float nilaiSuhu = 0.0f;
bool suhuValid = false;

// --- KONFIGURASI LCD, MQTT, DAN ALARM ---
const unsigned long LCD_INTERVAL_UPDATE = 1000;
const unsigned long MQTT_INTERVAL_SEND = 5000;
unsigned long lcdPreviousMillis = 0;
unsigned long lastMQTTSend = 0;
```

```
const float BATAS_SUHU_MIN = 25.0f;
const float BATAS_SUHU_MAX = 30.0f;
const float BATAS_PH_MIN = 6.5f;
const float BATAS_PH_MAX = 8.5f;
const float BATAS_NH3_MAX = 2.0f;
bool alarmSudahTrigger = false;
bool alarmDiresetManual = false;

// --- PROTOTYPE FUNGSI ---
void setupLCD();
void setupBuzzer();
void setupIoTKita();
void setupPH4502C();
void setupMQ135();
void setupSuhu();
void updatePH4502C();
void updateMQ135();
void updateSuhu();
void updateLCD();
void updateBuzzer();
void updateIoTKita();
void aksiResetAlarm(String topic, String message);
void resetSamplingPH();
void ambilSamplePH();
void resetSamplingMQ135();
void ambilSampleMQ135();
float hitungRsMQ135(float voltage);
float hitungNH3DariRatio(float ratio);
float batasiRentangNH3(float ppm);
void printPaddedFloat(float value, byte width, byte decimal);
bool kondisiAlarmAktif();
void resetAlarmDariDashboard();
void updateButton();
void kalibrasiBaseline();

void setup() {
  Wire.begin(I2C_SDA_PIN, I2C_SCL_PIN);
  setupLCD();
  setupBuzzer();
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);
  preferences.begin("mq135", false);
  baselineNH3 = preferences.getFloat("baseline", 3.753f);
  if (!ads.begin()) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("ADS ERROR       ");
    digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
    while (1);
```

```
  }
  setupPH4502C();
  setupMQ135();
  setupSuhu();
  setupIoTKita();
}

void loop() {
  iotkita.sync();
  updatePH4502C();
  updateMQ135();
  updateSuhu();
  updateLCD();
  updateBuzzer();
  updateIoTKita();
  updateButton();
}

void setupIoTKita() {
  iotkita.begin(apiKey);
  iotkita.setupWiFi(ssid, password);
  iotkita.setupMQTT(mqttHost, mqttPort, mqttUser, mqttPass);
  iotkita.dataSubscribe(topicResetAlarm, aksiResetAlarm);
}

void updateIoTKita() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - lastMQTTSend < MQTT_INTERVAL_SEND) return;
  lastMQTTSend = currentMillis;
  if (nh3Valid) iotkita.sendRaw(topicNH3, String(nilaiNH3, 2));
  if (phValid) iotkita.sendRaw(topicPH, String(nilaiPH, 2));
  if (suhuValid) iotkita.sendRaw(topicSuhu, String(nilaiSuhu, 2));
}

void aksiResetAlarm(String topic, String message) {
  if (message == "1" || message == "on" || message == "ON" ||
message == "true") {
    resetAlarmDariDashboard();
  }
}

void setupPH4502C() {
  phPreviousSampleMillis = millis();
  phPreviousUpdateMillis = millis();
}

void resetSamplingPH() {
```

```
  phTotalVoltage = 0.0f;
  phSampleKe = 0;
}

void ambilSamplePH() {
  ads.setGain(GAIN_ONE);
  int16_t adc = ads.readADC_SingleEnded(PH_ADS_CHANNEL);
  float voltage = adc * PH_ADS_LSB_MV / 1000.0f;
  phTotalVoltage += voltage;
  phSampleKe++;
}

void updatePH4502C() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (phSampleKe < PH_JUMLAH_SAMPLE && currentMillis -
phPreviousSampleMillis >= PH_INTERVAL_SAMPLE) {
    phPreviousSampleMillis = currentMillis;
    ambilSamplePH();
  }
  if (phSampleKe < PH_JUMLAH_SAMPLE || currentMillis -
phPreviousUpdateMillis < PH_INTERVAL_UPDATE) return;
  phPreviousUpdateMillis = currentMillis;
  float avgVoltage = phTotalVoltage / PH_JUMLAH_SAMPLE;
  nilaiPH = (PH_SLOPE * avgVoltage) + PH_INTERCEPT;
  phValid = true;
  resetSamplingPH();
}

void setupMQ135() {
  mq135PreviousSampleMillis = millis();
  mq135PreviousUpdateMillis = millis();
}

float hitungRsMQ135(float voltage) {
  return ((MQ135_VC * MQ135_RL) / voltage) - MQ135_RL;
}

float hitungNH3DariRatio(float ratio) {
  return (ratio - baselineNH3) / NH3_REG_SLOPE;
}

float batasiRentangNH3(float ppm) {
  if (ppm < NH3_MIN_PPM) return NH3_MIN_PPM;
  return ppm;
}

void resetSamplingMQ135() {
```

```
  mq135TotalRatio = 0.0f;
  mq135ValidSample = 0;
  mq135SampleKe = 0;
}

void ambilSampleMQ135() {
  ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);
  int16_t adc = ads.readADC_SingleEnded(MQ135_ADS_CHANNEL);
  float voltage = adc * MQ135_ADS_LSB_MV / 1000.0f;
  if (voltage > 0.01f && voltage < MQ135_VC) {
    float rs = hitungRsMQ135(voltage);
    float ratio = rs / MQ135_R0;
    mq135TotalRatio += ratio;
    mq135ValidSample++;
  }
  mq135SampleKe++;
}

void updateMQ135() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (mq135SampleKe < MQ135_JUMLAH_SAMPLE && currentMillis -
mq135PreviousSampleMillis >= MQ135_INTERVAL_SAMPLE) {
    mq135PreviousSampleMillis = currentMillis;
    ambilSampleMQ135();
  }
  if (mq135SampleKe < MQ135_JUMLAH_SAMPLE || currentMillis -
mq135PreviousUpdateMillis < MQ135_INTERVAL_UPDATE) return;
  mq135PreviousUpdateMillis = currentMillis;
  if (mq135ValidSample == 0) {
    nh3Valid = false;
    resetSamplingMQ135();
    return;
  }
  float avgRatio = mq135TotalRatio / mq135ValidSample;
  float ppmRaw = hitungNH3DariRatio(avgRatio);
  nilaiNH3 = batasiRentangNH3(ppmRaw);
  nh3DiLuarKalibrasi = (ppmRaw < NH3_MIN_PPM || ppmRaw >
NH3_MAX_PPM_KALIBRASI);
  nh3Valid = true;
  resetSamplingMQ135();
}

void setupSuhu() {
  sensorSuhu.begin();
  sensorSuhu.setWaitForConversion(false);
  sensorSuhu.requestTemperatures();
  suhuPreviousRequestMillis = millis();
```

```
  suhuMenungguKonversi = true;
}

void updateSuhu() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (suhuMenungguKonversi) {
    if (currentMillis - suhuPreviousRequestMillis <
SUHU_WAKTU_KONVERSI) return;
    float suhu = sensorSuhu.getTempCByIndex(0);
    if (suhu != DEVICE_DISCONNECTED_C) {
      nilaiSuhu = suhu;
      suhuValid = true;
    } else {
      suhuValid = false;
    }
    suhuMenungguKonversi = false;
    return;
  }
  if (currentMillis - suhuPreviousRequestMillis >=
SUHU_INTERVAL_UPDATE) {
    sensorSuhu.requestTemperatures();
    suhuPreviousRequestMillis = currentMillis;
    suhuMenungguKonversi = true;
  }
}

void setupLCD() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
}

void printPaddedFloat(float value, byte width, byte decimal) {
  char buffer[10];
  dtostrf(value, width, decimal, buffer);
  lcd.print(buffer);
}

void updateLCD() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - lcdPreviousMillis < LCD_INTERVAL_UPDATE)
return;
  lcdPreviousMillis = currentMillis;
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("NH3=");
  if (nh3Valid) printPaddedFloat(nilaiNH3, 4, 1);
  else lcd.print("--.-");
```

```
  lcd.print(" pH=");
  if (phValid) printPaddedFloat(nilaiPH, 4, 1);
  else lcd.print("--.-");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("T=");
  if (suhuValid) printPaddedFloat(nilaiSuhu, 4, 1);
  else lcd.print("--.-");
  lcd.print("C ");
  if (alarmSudahTrigger && alarmDiresetManual &&
kondisiAlarmAktif()) lcd.print("RST   ");
  else if (kondisiAlarmAktif()) lcd.print("ALARM ");
  else if (nh3DiLuarKalibrasi) lcd.print("NH3*  ");
  else lcd.print("OK    ");
}

bool kondisiAlarmAktif() {
  bool alarmSuhu = suhuValid && (nilaiSuhu < BATAS_SUHU_MIN ||
nilaiSuhu > BATAS_SUHU_MAX);
  bool alarmPH = phValid && (nilaiPH < BATAS_PH_MIN || nilaiPH >
BATAS_PH_MAX);
  bool alarmNH3 = nh3Valid && (nilaiNH3 > BATAS_NH3_MAX);
  return alarmSuhu || alarmPH || alarmNH3;
}

void setupBuzzer() {
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
}

void updateBuzzer() {
  bool alarmAktif = kondisiAlarmAktif();
  if (!alarmAktif) {
    alarmSudahTrigger = false;
    alarmDiresetManual = false;
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    return;
  }
  alarmSudahTrigger = true;
  if (alarmDiresetManual) digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
  else digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
}

void resetAlarmDariDashboard() {
  if (alarmSudahTrigger || kondisiAlarmAktif()) {
    alarmDiresetManual = true;
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
  }
```

```
}

void updateButton() {
  static bool lastState = HIGH;
  bool state = digitalRead(BUTTON_PIN);
  if (lastState == HIGH && state == LOW) waktuTekan = millis();
  if (lastState == LOW && state == HIGH) {
    unsigned long durasi = millis() - waktuTekan;
    if (durasi < 2000) resetAlarmDariDashboard();
    else if (durasi > 5000) kalibrasiBaseline();
  }
  lastState = state;
}

void kalibrasiBaseline() {
  lcd.clear();
  lcd.print("Kalibrasi NH3");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Tunggu...");
  float total = 0;
  int valid = 0;
  for (int i = 0; i < 200; i++) {
    ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);
    int16_t adc = ads.readADC_SingleEnded(1);
    float voltage = adc * MQ135_ADS_LSB_MV / 1000.0;
    if (voltage > 0.01 && voltage < MQ135_VC) {
      float rs = hitungRsMQ135(voltage);
      float ratio = rs / MQ135_R0;
      total += ratio;
      valid++;
    }
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(i + 1);
    lcd.print("/200 ");
    delay(200);
  }
  if (valid > 0) {
    baselineNH3 = total / valid;
    preferences.putFloat("baseline", baselineNH3);
    lcd.clear();
    lcd.print("Baseline OK");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(baselineNH3, 3);
    delay(2500);
  }
}
    return;
```

```
  }

  float avgRatio = mq135TotalRatio / mq135ValidSample;
  float ppmRaw = hitungNH3DariRatio(avgRatio);

  nilaiNH3 = batasiRentangNH3(ppmRaw);
  nh3DiLuarKalibrasi = (ppmRaw < NH3_MIN_PPM || ppmRaw >
NH3_MAX_PPM_KALIBRASI);
  nh3Valid = true;

  resetSamplingMQ135();
}

// ====================================================
// FUNGSI DS18B20
// ====================================================

void setupSuhu()
{
  sensorSuhu.begin();
  sensorSuhu.setWaitForConversion(false);
  sensorSuhu.requestTemperatures();

  suhuPreviousRequestMillis = millis();
  suhuMenungguKonversi = true;
}

void updateSuhu()
{
  unsigned long currentMillis = millis();

  if (suhuMenungguKonversi)
  {
    if (currentMillis - suhuPreviousRequestMillis <
SUHU_WAKTU_KONVERSI)
    {
      return;
    }

    float suhu = sensorSuhu.getTempCByIndex(0);

    if (suhu != DEVICE_DISCONNECTED_C)
    {
      nilaiSuhu = suhu;
      suhuValid = true;
    }
    else
```

```
    {
      suhuValid = false;
    }

    suhuMenungguKonversi = false;
    return;
  }

  if (currentMillis - suhuPreviousRequestMillis >=
SUHU_INTERVAL_UPDATE)
  {
    sensorSuhu.requestTemperatures();
    suhuPreviousRequestMillis = currentMillis;
    suhuMenungguKonversi = true;
  }
}

// ======================================================
// FUNGSI LCD
// ======================================================

void setupLCD()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
}

void printPaddedFloat(float value, byte width, byte decimal)
{
  char buffer[10];
  dtostrf(value, width, decimal, buffer);
  lcd.print(buffer);
}

void updateLCD()
{
  unsigned long currentMillis = millis();

  if (currentMillis - lcdPreviousMillis < LCD_INTERVAL_UPDATE)
  {
    return;
  }

  lcdPreviousMillis = currentMillis;

  lcd.setCursor(0, 0);
```

```
  lcd.print("NH3=");
  if (nh3Valid)
  {
    printPaddedFloat(nilaiNH3, 4, 1);
  }
  else
  {
    lcd.print("--.-");
  }
  lcd.print(" pH=");
  if (phValid)
  {
    printPaddedFloat(nilaiPH, 4, 1);
  }
  else
  {
    lcd.print("--.-");
  }

  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("T=");
  if (suhuValid)
  {
    printPaddedFloat(nilaiSuhu, 4, 1);
  }
  else
  {
    lcd.print("--.-");
  }
  lcd.print("C ");

  if (alarmSudahTrigger && alarmDiresetManual &&
kondisiAlarmAktif())
  {
    lcd.print("RST   ");
  }
  else if (kondisiAlarmAktif())
  {
    lcd.print("ALARM ");
  }
  else if (nh3DiLuarKalibrasi)
  {
    lcd.print("NH3*  ");
  }
  else
  {
    lcd.print("OK    ");
```

```
  }
}

// ====================================================
// FUNGSI BUZZER DAN RESET ALARM
// ====================================================

bool kondisiAlarmAktif()
{
  bool alarmSuhu = suhuValid && (nilaiSuhu < BATAS_SUHU_MIN ||
nilaiSuhu > BATAS_SUHU_MAX);
  bool alarmPH = phValid && (nilaiPH < BATAS_PH_MIN || nilaiPH >
BATAS_PH_MAX);
  bool alarmNH3 = nh3Valid && (nilaiNH3 > BATAS_NH3_MAX);

  return alarmSuhu || alarmPH || alarmNH3;
}

void setupBuzzer()
{
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
}

void updateBuzzer()
{
  bool alarmAktif = kondisiAlarmAktif();

  if (!alarmAktif)
  {
    alarmSudahTrigger = false;
    alarmDiresetManual = false;
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    return;
  }

  alarmSudahTrigger = true;

  if (alarmDiresetManual)
  {
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
  }
  else
  {
    digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
  }
}
```

```
void resetAlarmDariDashboard()
{
  if (alarmSudahTrigger || kondisiAlarmAktif())
  {
    alarmDiresetManual = true;
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
  }
}

void updateButton()
{
  static bool lastState = HIGH;

  bool state = digitalRead(BUTTON_PIN);

  if (lastState == HIGH && state == LOW)
  {
    waktuTekan = millis();
  }

  if (lastState == LOW && state == HIGH)
  {
    unsigned long durasi = millis() - waktuTekan;

    if (durasi < 2000)
    {
      resetAlarmDariDashboard();
    }
    else if (durasi > 5000)
    {
      kalibrasiBaseline();
    }
  }

  lastState = state;
}

void kalibrasiBaseline()
{
  lcd.clear();
  lcd.print("Kalibrasi NH3");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Tunggu...");

  float total = 0;
  int valid = 0;
```

```
  for (int i = 0; i < 200; i++)
  {
    ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);

    int16_t adc = ads.readADC_SingleEnded(1);
    float voltage = adc * MQ135_ADS_LSB_MV / 1000.0;

    if (voltage > 0.01 && voltage < MQ135_VC)
    {
      float rs = hitungRsMQ135(voltage);
      float ratio = rs / MQ135_R0;

      total += ratio;
      valid++;
    }

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(i + 1);
    lcd.print("/200 ");

    delay(200);
  }

  if (valid > 0)
  {
    baselineNH3 = total / valid;
    preferences.putFloat("baseline", baselineNH3);

    lcd.clear();
    lcd.print("Baseline OK");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(baselineNH3, 3);

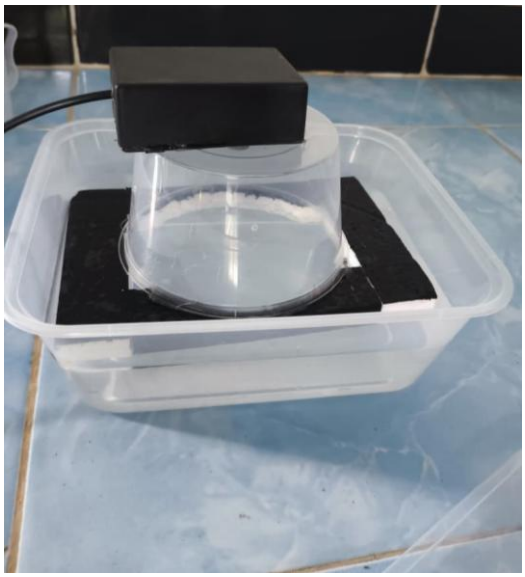
    delay(2500);
  }
}
```

Lampiran 2 : Dokumentasi Penelitian

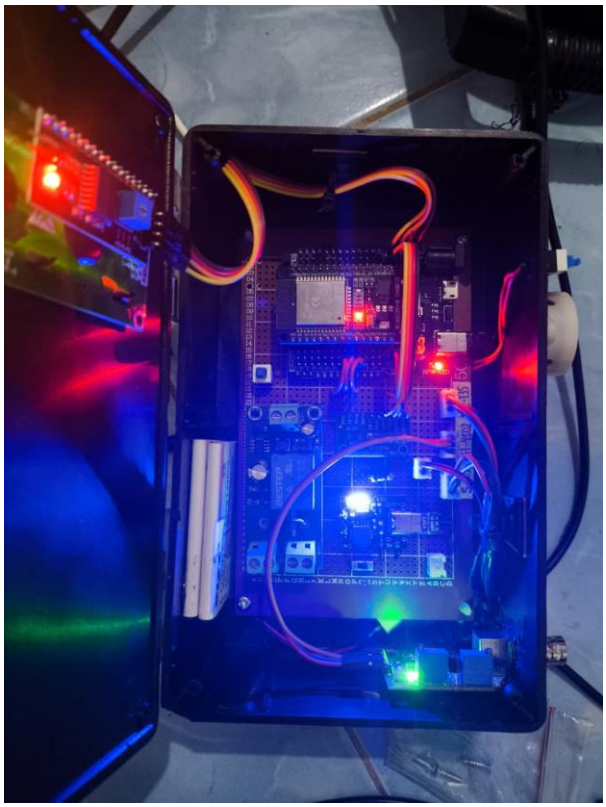
Gambar 1 : Proses Kalibrasi pH



Gambar 2 : Proses kalibrasi MQ135



Gambar 3 : Wiring Sistem *monitoring*



Gambar 4 : Pemasangan Sistem di Kolam Bioflok



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama	: Rico Ardiansyah
Tempat/Tanggal Lahir	: Sonomartani, 16 Desember 2003
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Umur	: 22 Tahun
Agama	: Islam
Status	: Belum Kawin
Tinggi Badan/Berat Badan	: 169 cm / 61 kg
Kewarganegaraan	: Indonesia
Alamat	: Dsn V Sumbersari
No. Hp	: 082294029562
Email	: ardirico923@gmail.com

Data Orang Tua

Nama Ayah	: Slamet Edi Wibowo
Agama	: Islam
Kewarganegaraan	: Indonesia
Nama Ibu	: Sarilah
Agama	: Islam
Kewarganegaraan	: Indonesia
Alamat	: Dsn V Sumbersari

Latar Belakang Pendidikan

RA Al-Umul	(2008-2010)
SDN 115477 Aek Naetek	(2010-2016)
SMPN 2 Kualuh Hulu	(2016-2019)
SMK TR Sinar Husni	(2019-2022)
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	(2022-2026)

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061)6622400-66224567

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Rico Ardiansyah

NPM : 2207220005

Jurusan :Teknik Elektro

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Iot *Monitoring* Multi-Parameter Kualitas Air (Ph, Amonia, Suhu) Pada Budidaya Ikan Nila Sistem Bioflok

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
	Selasa / 6-1-2026	Diskusi Penulisan TA dan Penentuan Rumusan Masalah	
	Selasa / 13-1-2026	Revisi BAB 1 (tambahkan sistematika penulisan)	
	Rabu / 14-1-2026	Revisi BAB 2 (tambahkan pembahasan di kajian pustaka, tambahkan teori metode kalibrasi sensor)	
	Jumat / 16-1-2026	Revisi BAB 3 (tambahkan prosedur penelitian, gambar rangkaian sistem)	
	Selasa / 20-1-2026	ACC Seminar Proposal	

Mengetahui
Pembimbing I

Dr. Rimbawati S.T, M.T

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061)6622400-66224567

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Rico Ardiansyah

NPM : 2207220005

Jurusan :Teknik Elektro

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Iot *Monitoring* Multi-Parameter Kualitas Air (Ph, Amonia, Suhu) Pada Budidaya Ikan Nila Sistem Bioflok

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
	Kamis / 18-6-2026	Diskusi Revisi Seminar Proposal	
	Senin / 13-7-2026	Revisi BAB 4 (memperbaiki susunan penulisan dan penulisan rumus)	
	Senin / 22-7-2026	Revisi BAB 4 (tambahkan perhitungan presisi pada sensor)	
	Selasa / 28-7-2026	Revisi BAB 5 (memperbaiki penulisan pada kesimpulan)	
	Sabtu / 8-8-2026	ACC Seminar Hasil	

Mengetahui
Pembimbing I

Dr. Rimbawati S.T, M.T

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jalan mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061)6622400-66224567

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Rico Ardiansyah
NPM : 2207220005
Jurusan :Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Iot *Monitoring* Multi-Parameter Kualitas Air (Ph, Amonia, Suhu) Pada Budidaya Ikan Nila Sistem Bioflok

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
	Selasa / 11-8-2026	Revisi BAB 4 (memperbaiki beberapa kata yg salah)	
	Kamis / 13-8-2026	Revisi BAB 5 (memperbaiki kesimpulan)	
	Senin / 17-8-2026	ACC Sidang	

Mengetahui
Pembimbing I

Dr. Rimbawati S.T, M.T

R E L E

(Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro

Vol. 8, No. 2, Agustus 2026, ISSN 2622 – 7002

Sistem IoT *Monitoring* Multi-Parameter Kualitas Air (pH, Amonia, Suhu) Pada Budidaya Ikan Nila Sistem Bioflok

Rico Ardiansyah[1], Rimbawati[2]

[1,2] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 03 Medan Telp. (061) 6622400 Kode pos 20238
e-mail: ardirico923@gmail.com[1], rimbawati@umsu.ac.id[2]

Abstrak—Kualitas air merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan budidaya. Perubahan parameter kualitas air, seperti derajat keasaman (pH), suhu, dan konsentrasi amonia (NH_3), dapat menyebabkan penurunan kesehatan ikan bahkan meningkatkan risiko kematian apabila tidak terpantau secara cepat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau parameter pH, suhu, dan estimasi konsentrasi amonia secara real-time. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama, sensor MQ-135 untuk mendeteksi perubahan konsentrasi amonia, sensor pH 4502C untuk mengukur derajat keasaman air, sensor suhu DS18B20 untuk mengukur temperatur air, serta modul ADS1115 sebagai konverter analog-ke-digital beresolusi 16-bit. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 1602 I2C dan dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke *Dashboard* IoT Kita menggunakan protokol MQTT. Kalibrasi sensor MQ-135 dan sensor pH dilakukan menggunakan metode regresi linear. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9635 untuk sensor MQ-135 dan 0,9982 untuk sensor pH. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring parameter kualitas air secara real-time, menampilkan data pada *Dashboard*, serta mengaktifkan *Buzzer* sebagai peringatan dini ketika salah satu parameter berada di luar batas aman. Nilai konsentrasi NH_3 yang dihasilkan merupakan estimasi berdasarkan model regresi linear sehingga sistem lebih tepat digunakan sebagai alat monitoring dan early warning system.

Kata kunci : Internet of Things, ESP32, kualitas air, MQ-135, sensor pH, DS18B20, regresi linear, IoT Kita

Abstract—*Water quality is one of the primary factors affecting the growth and survival of cultured fish. Changes in water quality parameters, such as pH, temperature, and ammonia (NH_3) concentration, can reduce fish health and increase the risk of mortality if not monitored promptly. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based water quality monitoring system capable of monitoring pH, temperature, and estimated ammonia concentration in real time. The system employs an ESP32 microcontroller as the main controller, an MQ-135 sensor to detect changes in ammonia concentration, a pH 4502C sensor to measure water acidity, a DS18B20 sensor to measure water temperature, and an ADS1115 module as a 16-bit analog-to-digital converter. Measurement data are displayed on a 1602 I2C LCD and transmitted via Wi-Fi to the IoT Kita Dashboard using the MQTT protocol. The MQ-135 and pH sensors were calibrated using the linear regression method. The calibration results produced coefficients of determination (R^2) of 0.9635 for the MQ-135 sensor and 0.9982 for the pH sensor. The testing results demonstrate that the developed system is capable of monitoring water quality parameters in real time, displaying data on the Dashboard, and activating a Buzzer as an early warning when any parameter exceeds the predefined safe threshold. The NH_3 concentration presented by the system represents an estimated value based on the linear regression model; therefore, the system is more suitable as a monitoring and early warning system rather than a laboratory-grade ammonia measuring instrument.*

Keywords : *Internet of Things,* ESP32, *water quality monitoring,* MQ-135, pH sensor, DS18B20, *linear regression,* IoT Kita

I. PENDAHULUAN

Akuakultur di Indonesia berkembang pesat sebagai salah satu sektor yang berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan protein hewani masyarakat. Salah satu metode budidaya yang kini semakin populer adalah sistem bioflok, yang menawarkan keunggulan dalam efisiensi penggunaan air dan pemanfaatan limbah organik menjadi biomassa yang bermanfaat. Sistem ini dinilai ramah lingkungan dan mendukung keberlanjutan produksi ikan di tengah keterbatasan lahan serta semakin tingginya tuntutan produktivitas.

Pada pelaksanaannya, budidaya ikan nila dengan sistem bioflok menghadapi sejumlah tantangan, terutama terkait kualitas air kolam yang harus dijaga secara ketat. Salah satu permasalahan kritis adalah akumulasi amonia yang dapat muncul akibat proses metabolisme ikan dan penguraian bahan organik, di mana kadar amonia yang tinggi berisiko menyebabkan stres hingga kematian massal pada ikan. Selain amonia, parameter pH dan suhu air juga harus dimonitor secara konsisten agar lingkungan kolam tetap optimal untuk pertumbuhan ikan nila.

Seiring perkembangan teknologi, pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) mulai diterapkan dalam sistem monitoring akuakultur Penelitian ini menggunakan metode integrasi sensor pH, suhu, dan sensor amonia (MQ-135) pada sistem berbasis IoT yang terkoneksi secara real-time.

Copyright© 2026 RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro. This is an open access article under the CC-BY-SA license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

. Metode ini juga dilengkapi kalibrasi sensor amonia menggunakan regresi linier terhadap hasil kit laboratorium, sehingga tingkat akurasi pengukuran dapat ditingkatkan dan sistem mampu mendeteksi perubahan kualitas air secara cepat.

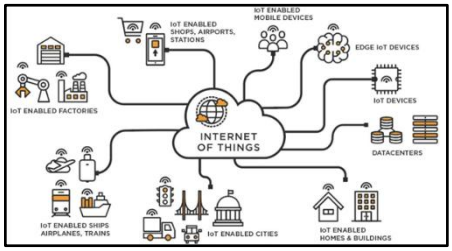
Penerapan sistem IoT monitoring multi-parameter ini diharapkan menjadi solusi efektif untuk mengantisipasi gangguan kualitas air di kolam bioflok. Dengan kemampuan mendeteksi perubahan parameter secara otomatis serta pemberian peringatan dini ketika nilai parameter mendekati ambang batas berbahaya, sistem ini memungkinkan tindakan responsif sebelum terjadi kerugian yang lebih besar. Pengawasan berbasis IoT juga memudahkan petani ikan dalam memantau kondisi kolam tanpa harus melakukan pengecekan manual secara berkala.

Dengan demikian, pengembangan sistem monitoring kualitas air berbasis IoT merupakan terobosan yang sangatsignifikan dalam mendukung keberlanjutan dan produktivitas budidaya ikan nila sistem bioflok. Selain meningkatkan ketahanan kolam terhadap risiko lingkungan, solusi ini juga memperkuat efektivitas manajemen dan potensi hasil produksi perikanan di masa depan.

II. STUDI PUSTAKA

A. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep di mana objek fisik dilengkapi dengan sensor, aktuator, dan konektivitas jaringan sehingga dapat saling berkomunikasi dan bertukar data melalui internet. Dalam konteks akuakultur, IoT memungkinkan pemantauan parameter lingkungan secara real-time dari jarak jauh, sehingga petani dapat mengambil keputusan yang lebih cepat dan tepat berdasarkan data aktual.



Gambar 1. Konsep Internet of Things (IoT)

B. Sistem Bioflok

Bioflok adalah teknologi budidaya ikan yang memanfaatkan agregasi mikroorganisme (flok) untuk mengolah limbah organik menjadi pakan tambahan bagi ikan. Sistem ini mampu mengurangi kebutuhan pergantian air secara signifikan dan meningkatkan efisiensi pakan.

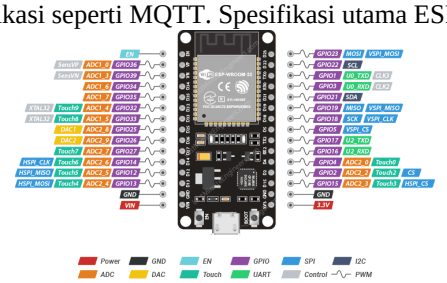


Gambar 2. Kolam Bioflok

Namun, keberhasilan sistem bioflok sangat bergantung pada stabilitas parameter kualitas air, khususnya pH, suhu, dan kadar amonia.

C. ESP32 DevKit

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis *dual-core* Xtensa LX6 yang dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi. Keunggulan ESP32 antara lain konsumsi daya rendah, jumlah pin GPIO yang banyak, dukungan ADC, serta kemampuan menjalankan protokol komunikasi seperti MQTT. Spesifikasi utama ESP32



Gambar 3. ESP32 DevKit

DevKit meliputi frekuensi clock hingga 240 MHz, memori flash 4 MB, dan dukungan tegangan operasi 3,0–3,6 V.

D. Sensor Gas MQ-135

Sensor MQ-135 merupakan sensor gas berbasis semikonduktor (SnO_2) yang sensitif terhadap berbagai gas, termasuk amonia (NH_3), benzena, alkohol, dan asap. Nilai resistansi sensor berubah seiring dengan perubahan konsentrasi gas. Dalam penelitian ini, sensor MQ-135



dikalibrasi menggunakan metode regresi linear terhadap data referensi dari tes kit amonia untuk menghasilkan estimasi konsentrasi NH_3.

Gambar 4. Sensor Gas MQ-135

E. Sensor pH-4502C

Sensor pH 4502C adalah modul sensor pH analog yang dilengkapi dengan probe elektroda kaca. Sensor ini menghasilkan tegangan analog yang proporsional terhadap



nilai pH larutan. Untuk meningkatkan resolusi pembacaan, keluaran sensor dihubungkan ke modul ADS1115 (ADC 16-bit). Kalibrasi dilakukan menggunakan buffer pH standar dan metode regresi linear.

Gambar 5. Sensor pH-4502C

Copyright© 2026 RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro. This is an open access article under the CC-BY-SA license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

F. Sensor Suhu DS18B20

DS18B20 adalah sensor suhu digital dengan antarmuka 1-Wire. Sensor ini memiliki rentang pengukuran −55 °C hingga +125 °C dengan akurasi ±0,5 °C pada rentang −10 °C hingga +85 °C. Karena bersifat digital, sensor ini tidak memerlukan kalibrasi tambahan yang rumit dan langsung memberikan nilai suhu dalam satuan Celsius.



Gambar 6. Sensor Suhu DS18B20

G. IoT Kita dan Protokol MQTT

IoT Kita merupakan platform *Dashboard* IoT berbasis web yang mendukung protokol MQTT untuk menerima data dari perangkat edge. MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) adalah protokol komunikasi ringan yang cocok untuk perangkat IoT dengan bandwidth terbatas. Data sensor dikirim dalam format topik MQTT dan ditampilkan secara real-time pada *Dashboard*.

H. *Buzzer*, LCD 1602 I2C, dan Modul Pendukung

Buzzer digunakan sebagai indikator peringatan dini ketika salah satu parameter kualitas air berada di luar batas aman. LCD 1602 I2C menampilkan nilai pH, suhu, dan estimasi amonia secara lokal. Modul ADS1115 digunakan sebagai ADC eksternal 16-bit untuk meningkatkan resolusi pembacaan sensor analog. Sistem juga dilengkapi catu daya cadangan berbasis baterai Lithium Polymer dan modul IP5306 untuk menjaga kontinuitas operasi saat sumber listrik utama terputus.

I. Regresi Linear

Regresi linear digunakan untuk memperoleh persamaan konversi dari nilai pembacaan sensor (tegangan atau rasio RS/RO) menjadi nilai parameter fisik (pH atau konsentrasi NH_3). Persamaan umum regresi linear adalah $y = a + bx$, di mana a adalah intercept dan b adalah slope. Nilai koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk menilai kekuatan hubungan linear antara data sensor dan data referensi.

III. METODE

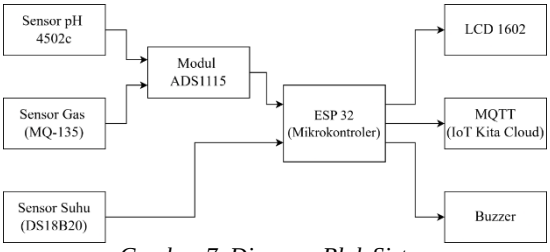
Penelitian ini dilaksanakan di Dusun V Sumbersari, Desa Sonomartani, Kecamatan Kualauh Hulu, Kabupaten Labuhan Batu Utara, Provinsi Sumatera Utara.Waktu penelitian berlangsung dari tahap perancangan hingga pengujian sistem.

A. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: mikrokontroler ESP32 DevKit, sensor MQ-135, sensor pH 4502C, sensor suhu DS18B20, modul ADS1115, LCD 1602 I2C, *Buzzer*, modul power bank IP5306, baterai Li-Po, kabel jumper, *breadboard*, serta perangkat lunak Arduino IDE dan *platform* IoT Kita.

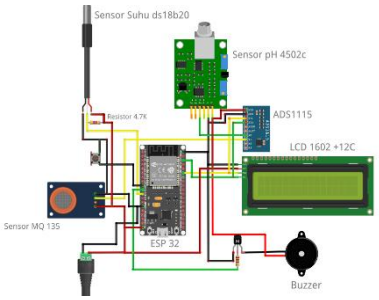
B. Diagram Blok Sistem

Sistem monitoring terdiri dari tiga bagian utama: unit penginderaan (sensor pH, MQ-135, DS18B20), unit pengolahan data (ESP32 + ADS1115), dan unit keluaran (LCD, *Buzzer*, dan *Dashboard* IoT Kita via MQTT). Data sensor dibaca secara periodik, dikonversi menggunakan persamaan regresi linear hasil kalibrasi, ditampilkan pada LCD, dikirim ke cloud, dan dibandingkan dengan ambang batas untuk mengaktifkan *Buzzer* jika diperlukan.



Gambar 7. Diagram Blok Sistem

C. Perancangan Perangkat Keras



Rancangan perangkat keras menghubungkan sensor pH dan MQ-135 ke input analog ADS1115, sedangkan

DS18B20 dihubungkan langsung ke pin digital ESP32. LCD 1602 I2C dan *Buzzer* dihubungkan ke pin GPIO ESP32. Sistem catu daya dirancang agar dapat beroperasi dari adaptor maupun baterai cadangan.

Gambar 8. Wiring Diagram Sistem

D. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor MQ-135 dilakukan dengan membandingkan nilai rasio RS/RO terhadap konsentrasi NH_3 hasil pengukuran tes kit amonia pada beberapa titik konsentrasi. Data kemudian dianalisis menggunakan regresi linear untuk memperoleh persamaan konversi. Kalibrasi sensor pH dilakukan dengan buffer pH 4,0, 6,86, dan 9,18. Nilai tegangan sensor pada setiap buffer dicatat dan dianalisis dengan regresi linear.

Hasil kalibrasi sensor MQ-135 menghasilkan R^2 = 0,9635, sedangkan sensor pH menghasilkan R^2 = 0,9982, yang menunjukkan hubungan linear yang sangat kuat.

E. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu pengujian fungsional setiap sensor secara terpisah, pengujian akurasi dan presisi dengan membandingkan hasil pembacaan sistem terhadap alat ukur referensi, pengujian integrasi sistem termasuk pengiriman data ke *Dashboard* IoT Kita, pengujian sistem peringatan dini (*Buzzer*), dan pengujian sistem backup baterai.

Copyright© 2026 RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro. This is an open access article under the CC-BY-SA license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

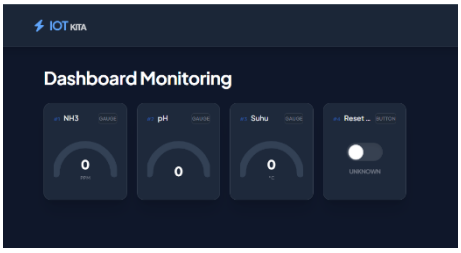
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Sistem

Sistem monitoring kualitas air berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan. Seluruh komponen terintegrasi dengan baik. Data sensor dapat ditampilkan pada LCD 1602 I2C dan dikirim secara real-time ke *Dashboard* IoT Kita melalui protokol MQTT.



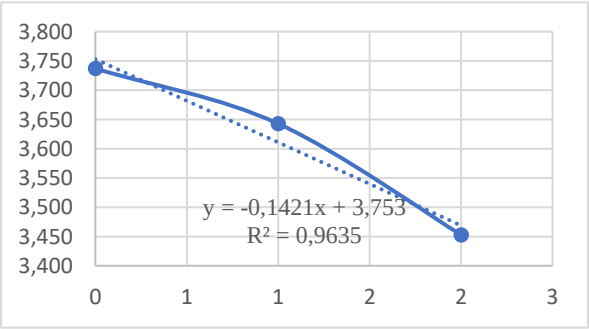
Gambar 9. Keseluruhan Sistem Monitoring Kualitas Air



Gambar 10. Tampilan Dashboard IoT Kita

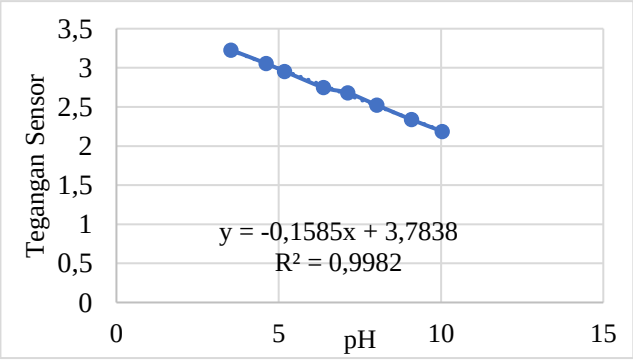
B. Hasil Kalibrasi Sensor

Hasil kalibrasi sensor MQ-135 menunjukkan hubungan linear yang kuat antara rasio RS/RO dan konsentrasi NH_3 dengan nilai $R^2 = 0{,}9635$. Persamaan regresi yang diperoleh diimplementasikan pada program ESP32.



Gambar 11. Grafik Hubungan Konsentrasi NH_3 terhadap RS/RO

Sementara itu, kalibrasi sensor pH menghasilkan $R^2 = 0{,}9982$, yang mengindikasikan hubungan yang hampir sempurna antara tegangan sensor dan nilai pH.



Gambar 12. Grafik Hubungan pH terhadap Tegangan Sensor

C. Pengujian Sensor MQ-135

Pengujian sensor MQ-135 dilakukan dengan membandingkan estimasi konsentrasi NH_3 dari sistem terhadap hasil tes kit amonia. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata akurasi sebesar 86,25% dengan rata-rata error 13,75%. Standar deviasi sebesar 0,208 ppm dan Relative Standard Deviation (RSD) 26,74%. Meskipun akurasinya lebih rendah dibanding sensor lain, sensor MQ-135 masih layak digunakan sebagai indikator perubahan konsentrasi amonia dan dasar peringatan dini.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pengujian Sensor MQ-135

Parameter	Nilai	Keterangan
Rata-rata Akurasi	86,25%	Estimasi NH_3
Rata-rata Error	13,75%	-
Standar Deviasi	0,208 ppm	-
RSD	26,74%	Variasi relatif
R^2 Kalibrasi	0,9635	Regresi linear

D. Pengujian Sensor pH 4502C

Sensor pH 4502C menunjukkan performa terbaik di antara ketiga sensor. Rata-rata akurasi mencapai 99,23% dengan rata-rata error hanya 0,77%. Standar deviasi sebesar 0,03347 dan RSD 0,44% mengindikasikan konsistensi pengukuran yang sangat tinggi. Hasil ini memperkuat bahwa sensor pH 4502C yang dikalibrasi dengan regresi linear sangat andal untuk monitoring kualitas air.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Pengujian Sensor pH 4502C

Parameter	Nilai	Keterangan
Rata-rata Akurasi	99,23%	Sangat tinggi
Rata-rata Error	0,77%	-
Standar Deviasi	0,03347	-
RSD	0,44%	Konsistensi tinggi
R^2 Kalibrasi	0,9982	Regresi linear

E. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 memiliki rata-rata akurasi 98,38% dengan rata-rata error 1,62%. Standar deviasi 0,228 °C dan RSD 0,857% menunjukkan bahwa sensor ini memiliki konsistensi yang baik dan cocok digunakan untuk monitoring suhu air pada sistem bioflok.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Pengujian Sensor DS18B20

Parameter	Nilai	Keterangan
Rata-rata Akurasi	98,38%	Baik
Rata-rata Error	1,62%	-
Standar Deviasi	0,228 °C	-
RSD	0,857%	Konsistensi baik

F. Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional meliputi inisialisasi ESP32, tampilan LCD, pengiriman data ke *Dashboard* IoT Kita, aktivasi *Buzzer*, dan sistem backup baterai. Seluruh fungsi berjalan sesuai rancangan. Ketika salah satu parameter (pH, suhu, atau estimasi NH_3) melewati ambang batas yang ditentukan, *Buzzer* aktif sebagai peringatan dini. Sistem backup baterai mampu menjaga kelangsungan operasi saat sumber listrik utama terputus.

G. Pembahasan

Dari hasil pengujian, sensor pH 4502C menunjukkan performa terbaik, diikuti oleh sensor DS18B20. Sensor MQ-135 memiliki akurasi yang lebih rendah karena sifatnya yang tidak selektif terhadap gas amonia saja (cross-

Copyright© 2026 RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro. This is an open access article under the CC-BY-SA license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

sensitivity terhadap gas lain). Oleh karena itu, nilai NH_3 yang dihasilkan sistem merupakan estimasi dan lebih tepat digunakan sebagai indikator tren serta dasar early warning system, bukan sebagai instrumen pengukuran laboratorium. Secara keseluruhan, sistem IoT yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian sebagai perangkat monitoring multi-parameter kualitas air secara real-time pada budidaya ikan nila sistem bioflok.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan pembahasan sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) pada budidaya ikan nila sistem bioflok, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut

Sistem monitoring kualitas air berbasis IoT telah berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan ESP32 sebagai pusat pengolahan data dengan parameter pH, amonia (NH_3), dan suhu. Sistem mampu melakukan pembacaan sensor, menampilkan data pada LCD 1602 I2C, mengirimkan data melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT menuju *Dashboard* IoT Kita, serta memberikan peringatan dini melalui *Buzzer* ketika nilai parameter berada di luar batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa proses pembacaan dan pengolahan data sensor, tampilan LCD, pengiriman data MQTT, tampilan *Dashboard*, fungsi *Buzzer*, dan sistem catu daya cadangan dapat beroperasi sesuai dengan rancangan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat akurasi dan presisi setiap sensor memiliki karakteristik yang berbeda. Sensor pH 4502C memiliki rata-rata akurasi tertinggi sebesar 99,23% dengan rata-rata error 0,77%, standar deviasi 0,03347, dan RSD 0,44%. Sensor DS18B20 memiliki rata-rata akurasi sebesar 98,38% dengan rata-rata error 1,62%, standar deviasi 0,228 °C, dan RSD 0,857%. Sensor MQ-135 memiliki rata-rata akurasi sebesar 86,25% dengan rata-rata error 13,75%, standar deviasi 0,208 ppm, dan RSD 26,74%. Berdasarkan hasil tersebut, sensor pH 4502C memiliki tingkat akurasi dan konsistensi pengukuran tertinggi, diikuti oleh sensor DS18B20, sedangkan MQ-135 lebih sesuai digunakan sebagai indikator perubahan konsentrasi amonia dan dasar pemberian peringatan dini, bukan sebagai acuan tunggal untuk menentukan kadar amonia secara absolut.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. Rinanto, G. F. Fausyiah, D. A. Ramadhan, and J. A. Nugrahaini, “Otomatisasi Kendali Suhu di Kolam Bioflok dalam Budidaya Ikan Nila di Kemuning Berbasis IoT,” vol. V, no. 1, 2025.

[2] Z. W. Baiq, Syafaruddin, and Supriono, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Kolam Ikan Nila Berbasis Arduino,” vol. 4, no. 6, pp. 3695–3704, 2024.

[3] M. Akbar and M. Rivai, “Sistem Kontrol dan Monitoring Kadar Amonia untuk Budidaya Ikan yang Diimplementasi pada Raspberry Pi 3B,” vol. 7, no. 2, pp. 3–8, 2022.

[4] M. R. Satriawan, G. Priyandoko, and S. Setiawidayat, “Monitoring pH Dan Suhu Air Pada Budidaya Ikan Mas Koki Berbasis IoT,” vol. 5, pp. 12–17, 2023.

[5] M. H. Hakim et al., “Rancang bangun prototipe *Internet of Things* untuk monitoring ph air kolam ikan koi secara realtime,” vol. 9, no. 2, pp. 1085–1090, 2024.

[6] M. S. N. Firmansyah, N. S. Rahmi, A. Andang, M. A. K. Anshary, Aripin, and A. Romdani, “Optimalisasi Budidaya Ikan Melalui Sistem Bioflok: Pengenalan Dan Pelatihan Bagi Muda-Mudi Ancol,” vol. 2, no. 2, pp. 46–55, 2025.

[7] T. Mulyono, I. Rofi, A. Y. Nurhayati, Y. C. Hariadi, and L. A. Octaviani, “Monitoring Ammonia Gas Using the MQ-135 Sensor for Cow Pen Health in Mrawan Village, Mayang District, Jember Regency,” vol. 02, pp. 22–30, 2024.

[8] A. Hasibuan, M. Daud, R. Andria, M. Sayuti, and I. M. A. Nrsrtha, “Design of Ammonia Gas Detection and Control Devices in Chicken Farms Based on Arduino Uno,” no. 2, pp. 485–500, 2023.

[9] R. Al Mamun, M. Ashik-e-rabbani, and M. Haque, “Smart Agricultural Technology IoT-based real-time biofloc monitoring and controlling system,” Smart Agric. Technol., vol. 9, p. 100598, 2024.

[10] A. N. J. Mohd et al., “Improved accuracy in IoT-Based water quality monitoring for aquaculture tanks using low-cost sensors: Asian seabass fish farming,” Heliyon, vol. 10, no. 8, p. e29022, 2024.

[11] R. Maulini, D. Sahlinal, and O. Arifin, “Monitoring of pH, Amonia (NH3) and Temperature Parameters Aquaponic Water in the 4.0 Revolution Era,” 2022.

[12] A. Zuhaer et al., “Sustainable aquaculture: An IoT-integrated system for real-time water quality monitoring featuring advanced DO and ammonia sensors,” Aquac. Eng., vol. 112, p. 102620, 2026.

[13] R. Eso, H. T. Mokui, and L. Safiuddin, “Water Quality Monitoring System Based on the *Internet of Things* (IoT) for Vannamei Shrimp Farming,” vol. 15, pp. 53–63, 2024.

[14] G. P. Mindara et al., “Calibration of Dissolved Oxygen Sensors in IoT Systems for Water Quality Monitoring in Aquaculture,” vol. 10, no. 3, pp. 215–230, 2025.

[15] H. Partaoan, Rimbawati, N. Evalina, and D. Mangopo, “Peralatan Pencegahan Kebakaran Akibat Kebocoran Tabung Gas Menggunakan Sensor MQ-135 Berbasis IoT,” no. 3, pp. 238–247, 2025.

[16] Y. Abdullahi et al., “Development and Validation of an Ammonia (NH3) Gas Concentration Measurement Device for Industrial and Health Application,” vol. X, pp. 212–230, 2025.

[17] I. S. Suasana, “Monitoring Air Limbah Rumah Sakit Berdasarkan Kadar pH Dan Suhu Menggunakan Arduino,” vol. 5, no. 1, 2023.

[18] S. A. Nugroho, N. S. Budi, S. Aprilia, and F. Anindyahadi, “Perancangan Alat Ukur Kadar pH Dan Suhu,” vol. 13, no. 2, 2025.

Copyright© 2026 RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro. This is an open access article under the CC-BY-SA license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).