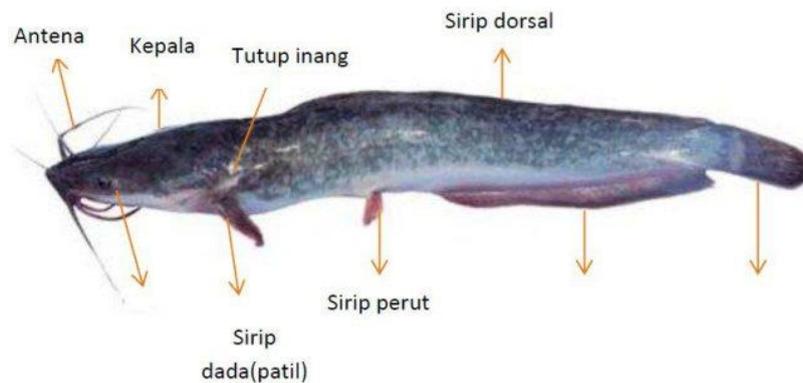


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ikan Lele

Ikan lele (*Clarias sp.*) adalah salah satu komoditas perikanan budidaya air tawar yang sangat diunggulkan untuk peningkatan produksi di Indonesia.[5]. Peningkatan produksi ikan lele membutuhkan penelitian dan pengembangan, terutama dalam bidang pemuliaan untuk menghasilkan strain baru ikan lele yang unggul. Untuk memahami dengan baik ikan lele, penting untuk memahami klasifikasinya, habitat alaminya, serta kondisi lingkungan yang optimal untuk budidaya.



Gambar 2.1 Ikan Lele (*Clarias sp.*)

Memahami klasifikasi, habitat alami, serta kondisi lingkungan yang optimal untuk budidaya merupakan langkah penting dalam pengembangan budidaya ikan lele yang berkelanjutan. Pemuliaan dan penelitian terus-menerus memainkan peran penting dalam memajukan industri budidaya ikan lele, mendukung peningkatan produksi dan kontribusi terhadap perekonomian negara. Klasifikasi ikan lele berdasarkan penelitian Erliana[6] yaitu sebagai berikut:

Kingdom : Animalia

Filum	: Chordata
Kelas	: Pisces
Ordo	: Ostarophysi
Famili	: Clariidae
Genus	: Clarias
Species	: <i>Clarias batrachus</i>

Ikan lele merupakan spesies ikan yang sangat adaptif, dapat ditemukan di berbagai tipe perairan, mulai dari sungai, danau, rawa, hingga kolam budidaya. Ikan lele lebih suka hidup di perairan yang tenang dengan dasar lumpur atau lumpur berpasir. Lubang-lubang, akar pohon yang tenggelam, dan objek-objek lainnya di dasar perairan memberikan tempat perlindungan bagi ikan lele. Mereka sering menyembunyikan diri di tempat-tempat seperti ini untuk menghindari predator dan mencari. Kualitas air yang baik adalah kunci untuk memastikan kehidupan yang sehat bagi ikan lele dan spesies lainnya di ekosistem perairan. Menurut Nurhidayat [7] berikut ini adalah parameter untuk kualitas air pada budidaya ikan lele :

Tabel 2. 1 Parameter Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Lele

Suhu	27-30°C
pH	7-8
Kadar Amonia	0,2 ppm
Oksigen terlarut	> 5 mg/L

Oleh karena itu, menjaga keseimbangan parameter-parameter seperti suhu, oksigen, pH, dan keberadaan makanan alami sangat penting dalam budidaya ikan lele. Penilaian dan pemantauan berkala terhadap kualitas air membantu petani ikan

untuk mengambil tindakan yang diperlukan, memastikan keberhasilan budidaya dan kesejahteraan ikan.

2.2. Perangkat Keras

Terdapat beberapa perangkat keras yang akan digunakan pada perancangan alat diantaranya, akan dijelaskan sebagai berikut:

2.2.1. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali dalam sistem, yang memudahkan integrasi dan penggunaan berkat ketersediaan pin yang dapat diakses secara langsung dan adanya modul WiFi bawaan untuk konektivitas jaringan. Sebagai bagian dari evaluasi, sebuah program sederhana dirancang untuk mengendalikan LED internal pada ESP32, dengan tujuan utama untuk memverifikasi fungsionalitas perangkat lunak yang berjalan pada mikrokontroler tersebut[8].



Gambar 2.2 Mikrokontroler ESP32

Berikut ini merupakan spesifikasi yang dimiliki oleh mikrokontroler ESP32:

1. Prosesor: Xtensa dual-core (or single-core) 32-bit LX6 microprocessor, operating at 160 or 240 MHz.
2. Memori: 520 KB SRAM.

3. Wireless connectivity: Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE (shares the radio with Wi-Fi).
4. Peripheral I/O: 12-bit SAR ADC (up to 18 channels), 2x 8-bit DACs, 10x touch sensors (capacitive sensing GPIOs), 4x SPI, 2x I2S interfaces, 2x I2C interfaces, 3x UART, SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC host controller, SDIO/SPI slave controller, Ethernet MAC interface, CAN bus 2.0, infrared remote controller (TX/RX, up to 8 channels), motor PWM, LED PWM (up to 16 channels), hall effect sensor, ultra low power analog pre-amplifier.
5. Security : IEEE 802.11 standard security, secure boot, flash, encryption, 1024-bit, OTP (up to 768-bit for customers), cryptographic hardware acceleration (AES, SHA-2, RSA, ECC), random number generator (RNG).

2.2.2. Sensor

Sensor adalah perangkat elektronik yang mampu mendeteksi atau mengukur perubahan dalam lingkungan fisik atau kimia, dan mengubahnya menjadi sinyal listrik[9]. Sensor berfungsi sebagai mata elektronik yang memungkinkan sistem elektronik memahami dunia di sekitarnya. Sensor sangat penting dalam berbagai aplikasi, dari teknologi medis hingga otomasi industri dan perangkat pintar di rumah.

2.2.2.1. Sensor Suhu

Sensor suhu adalah perangkat elektronik yang dirancang khusus untuk mengukur suhu di lingkungan fisik. Sensor suhu dapat bekerja dengan mendeteksi perubahan pada sifat fisik atau listrik bahan yang berubah seiring perubahan suhu[10]. Sensor suhu mengukur perubahan suhu pada objek atau lingkungan dengan berbagai prinsip. Contohnya, sensor termistor mengukur suhu berdasarkan perubahan resistansi elektrik seiring perubahan suhu. Sementara itu, sensor termokopel memanfaatkan perbedaan potensial listrik yang dihasilkan oleh dua logam berbeda pada suhu yang berbeda[11].



Gambar 2.3 Sensor suhu

2.2.2.2. Sensor PH

Sensor pH adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan (pH) dari suatu larutan[12]. Skala pH berkisar dari 0 hingga 14, di mana pH 7 adalah netral. Nilai pH kurang dari 7 menunjukkan sifat asam, sedangkan nilai pH lebih dari 7 menunjukkan sifat basa (alkali) [13]. Sensor pH memberikan informasi vital tentang kualitas suatu larutan, termasuk air, dengan

keasaman yang sesuai sangat penting dalam berbagai aplikasi, termasuk pertanian, akuakultur, industri makanan, dan laboratorium [14].



Gambar 2.4 Sensor ph

2.2.3. Relay

Relay adalah saklar mekanik yang dikendalikan atau dikontrol secara elektronik atau elektro magnetik. Saklar pada relay akan terjadi perubahan posisi off ke on pada saat diberikan energi elektro magnetik pada armature relay tersebut. Saklar relay dikendalikan menggunakan tegangan listrik yang diberikan ke induktor pembangkit magnet untuk menarik armature tuas saklar Dalam perancangan alat, relay yang digunakan berupa modul relay yaitu modul relay 4 channel dan modul relay 2 channel [15].



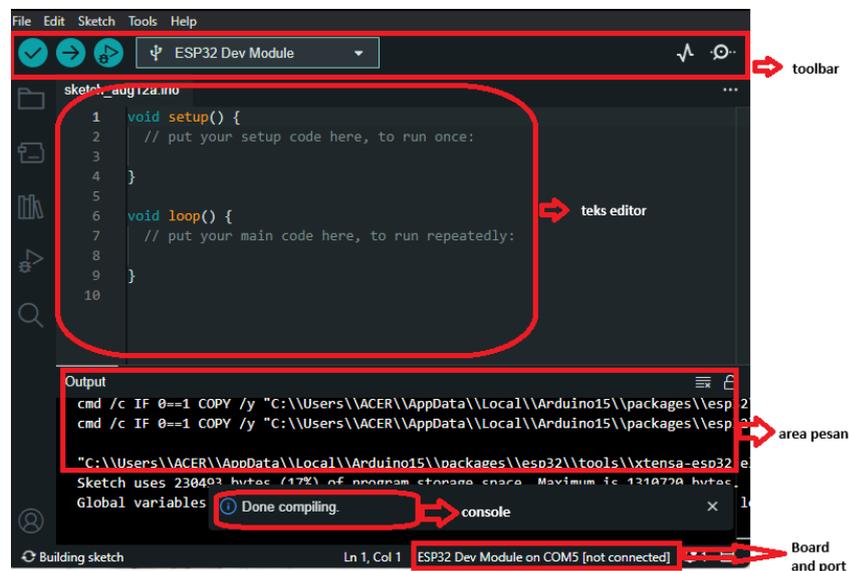
Gambar 2.5 Relay

2.3. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang akan digunakan pada perancangan sistem ini dengan menggunakan *software* Arduino IDE. Akan dijelaskan sebagai berikut:

2.3.1. Arduino IDE

Untuk memprogram board Arduino, diperlukan perangkat lunak IDE (*Integrated Development Environment*). Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk membuat, membuka, dan mengedit kode sumber Arduino. Berikut adalah tampilan antarmuka dari Arduino IDE.



Gambar 2.6 Tampilan Arduino IDE

Keterangan pada bagian-bagian *interface* Arduino IDE pada **Gambar 2.6** terdiri dari:

1. Verifikasi Sketch : Sebelum mengunggah aplikasi ke board Arduino, sebaiknya verifikasi terlebih dahulu sketch yang dibuat. Jika ada kesalahan pada sketch, maka akan muncul pesan error. Proses verifikasi / kompilasi mengubah sketch menjadi kode biner untuk diunggah ke mikrokontroler.

2. Upload Sketch : Tombol ini berfungsi untuk mengunggah sketch ke board Arduino. Meskipun tombol verifikasi tidak diklik, sketch akan tetap di-compile dan langsung diunggah ke board. Berbeda dengan tombol verifikasi yang hanya berfungsi untuk memeriksa kode sumber saja.
3. Buat Baru: Tombol ini membuka jendela kode tab baru, memungkinkan pengguna untuk memulai sketch baru.
4. Buka : Tombol ini digunakan untuk membuka file source code yang telah disimpan sebelumnya.
5. Simpan : Tombol ini menyimpan source code yang telah dibuat atau diedit.
6. Monitor Serial: Tombol ini membuka antarmuka yang menampilkan informasi dari monitor serial, yang berguna untuk komunikasi antara komputer dan board Arduino.
7. Pesan Aplikasi : Bagian ini menampilkan pesan yang memberikan informasi tentang status proses, seperti "kompilasi", "selesai mengunggah", atau pesan error yang terjadi saat mengompilasi dan mengunggah sketch.
8. Konsol Teks : Konsol teks ini menunjukkan pesan kesalahan yang terjadi selama proses debugging, membantu pengguna dalam menemukan dan memperbaiki masalah dalam kode.
9. Posisi Baris : Bagian ini menunjukkan posisi baris kursor yang sedang aktif dalam sketch, membantu pengguna mengetahui lokasi kursor saat menulis kode.

10. Port Arduino : Bagian ini memberikan informasi mengenai port yang digunakan oleh board Arduino, penting untuk memastikan bahwa board terhubung dengan benar ke komputer.

2.4. Internet of Things (IoT)

Perkembangan teknologi komputer diprediksi akan membawa perubahan besar dalam cara manusia berinteraksi dengan peralatan elektronik. Dalam konteks ini, penggunaan komputer dimasa depan diharapkan mampu mendominasi pekerjaan manusia dan bahkan mengalahkan kemampuan komputasi manusia dalam berbagai aspek. Adanya kemajuan dalam konektivitas Internet, komputer di masa depan akan memiliki kemampuan untuk mengontrol peralatan elektronik dari jarak jauh melalui Internet. Ini berarti pengguna dapat mengatur dan mengendalikan peralatan rumah mereka, mulai dari lampu hingga perangkat elektronik kompleks seperti sistem keamanan rumah, menggunakan antarmuka komputer [16].

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menggambarkan konektivitas antara objek-objek fisik di dunia nyata melalui internet[17]. Ide dasar IoT pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999. Sejak saat itu, banyak perusahaan besar seperti Intel, Microsoft, Oracle, dan banyak lainnya mulai menginvestasikan waktu, uang, dan sumber daya dalam pengembangan teknologi IoT. Pengembangan IoT memberikan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kenyamanan dalam kehidupan sehari-hari, serta membuka jalan bagi inovasi baru di berbagai industri.

Dalam IoT, berbagai perangkat, seperti sensor, perangkat rumah tangga, kendaraan, dan peralatan industri, dilengkapi dengan teknologi untuk mengumpulkan data dan berkomunikasi secara otomatis dengan perangkat lain

melalui jaringan internet. Menurut Erlina[18] perangkat IoT umumnya terdiri dari tiga komponen utama yaitu sebagai berikut:

1. Sensor

Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mengumpulkan data dari lingkungan sekitarnya. Contohnya termasuk sensor suhu, sensor kelembaban, sensor gerak, dan sebagainya. Sensor-sensor ini mengumpulkan data yang kemudian dikirim ke sistem komputer untuk dianalisis.

2. Koneksi Internet

Koneksi internet adalah media komunikasi yang menghubungkan sensor-sensor dan perangkat lain ke jaringan internet. Koneksi ini memungkinkan perangkat IoT untuk mengirimkan dan menerima data secara real-time.

3. Server dan Sistem Analisis

Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor IoT dikirim ke server atau sistem analisis di mana data tersebut dianalisis, diproses, dan digunakan untuk mengambil keputusan. Perusahaan menggunakan teknologi analitik canggih untuk mengambil wawasan dari data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT.

Contoh pengaplikasian IoT sangat beragam salah satunya adalah sistem pengawasan seperti CCTV yang terhubung ke internet. Dalam kasus ini, CCTV yang tersebar di sepanjang jalan dapat mengirimkan data gambar dan video ke sebuah pusat pengendalian yang bisa berada puluhan kilometer jauhnya[19]. Penggunaan IoT juga terlihat dalam rumah pintar, di mana perangkat-perangkat seperti lampu, termostat, kamera keamanan, dan perangkat lainnya dapat diatur dan dimonitor melalui smartphone atau perangkat lainnya melalui internet. IoT, atau

Internet of Things, merujuk pada jaringan perangkat fisik yang terhubung melalui internet dan dapat saling berkomunikasi serta bertukar data yang menghadirkan revolusi dalam cara kita mengelola dan mengontrol perangkat[20].

2.5. Sistem Logika Fuzzy

1.5.1. Logika Fuzzy

Fuzzy adalah metodologi sistem kontrol yang mengambil inspirasi dari cara manusia berpikir dan membuat keputusan [21]. Sistem fuzzy adalah pendekatan dalam ilmu komputer dan matematika yang digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dan kompleksitas dalam pengambilan keputusan. Konsep ini mencoba menangkap ketidakpastian dan kompleksitas dunia nyata dengan memperlakukan variabel input dan output sebagai nilai yang bukan hanya benar atau salah (0 atau 1), tetapi berada dalam rentang nilai tertentu yang "fuzzy" atau kabur. Metode ini sangat cocok untuk berbagai macam sistem, mulai dari yang sederhana hingga yang sangat kompleks dan terintegrasi seperti embedded systems, jaringan PC, multi-channel data acquisition, hingga sistem kontrol industri yang besar.

Dalam pengendalian sistem, Fuzzy Logic memungkinkan pemodelan dan pengambilan keputusan yang lebih fleksibel [22]. Aturan-aturan logika fuzzy relatif mudah untuk dipahami dan diterapkan. Membuat, mengubah, atau menghapus aturan-aturan dalam sistem fuzzy tidak memerlukan pengetahuan matematis tingkat tinggi. Ini memberi keleluasaan dan fleksibilitas kepada pengembang sistem. Menurut Rindengan dan Langi [23]. Beberapa konsep penting yang perlu dipahami dalam sistem fuzzy meliputi:

1. Variabel Fuzzy: Variabel fuzzy adalah simbol yang digunakan untuk menggambarkan suatu kuantitas dalam sistem fuzzy.
2. Himpunan Fuzzy: Himpunan fuzzy adalah konsep yang menggambarkan keadaan tertentu dalam variabel fuzzy. Setiap himpunan ini memiliki batasan nilai tertentu yang menentukan apakah suatu nilai dalam variabel umur dapat dianggap sebagai muda, dewasa, atau tua.
3. Semesta Pembicaraan: Semesta pembicaraan adalah rentang nilai yang dapat digunakan dalam variabel fuzzy dan biasanya direpresentasikan dalam bentuk bilangan real. Semesta pembicaraan dapat mencakup bilangan positif dan negatif.
4. Domain: Domain adalah rentang nilai yang diperbolehkan dalam suatu himpunan fuzzy, berdasarkan nilai semesta pembicaraan.

Keunggulan Fuzzy Logic terletak pada kemampuannya untuk mengatasi ketidakpastian dan variabilitas dalam data [24]. Dalam berbagai aplikasi, terutama pada sistem yang melibatkan parameter non-linear dan ketidakpastian, Fuzzy Logic sering kali memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode kontrol tradisional. Oleh karena itu, Fuzzy Logic telah menjadi pilihan populer dalam desain sistem kontrol yang memerlukan ketangguhan dan adaptabilitas tingkat tinggi.

1.5.2. Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi merupakan langkah pertama dan kunci dalam sistem Fuzzy Logic. Dalam konteks ini, data masukan yang biasanya bersifat pasti (crisp) diubah menjadi bentuk fuzzy, yang memungkinkan sistem Fuzzy Logic memproses informasi yang lebih kompleks dan mengatasi ketidakpastian serta kompleksitas

data [25]. Pada tahap fuzzyfikasi, nilai-nilai masukan yang crisp, yang berada dalam rentang tertentu, dikonversi menjadi nilai-nilai fuzzy dengan tingkat keanggotaan tertentu. Tingkat keanggotaan ini menunjukkan sejauh mana nilai masukan menjadi anggota dari himpunan fuzzy yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan cara ini, fuzzyfikasi memungkinkan sistem untuk merespons variabel-variabel lingkungan dengan cara yang lebih mirip dengan cara manusia berpikir. Sebagai contoh, kita dapat mengatakan bahwa suhu tertentu adalah "hangat" meskipun tidak ada batasan pasti yang membedakan suhu hangat dengan suhu sejuk. Fuzzyfikasi memungkinkan sistem Fuzzy Logic memahami dan merespons kepada keadaan yang lebih kompleks dan abstrak, memperkaya kemampuan sistem dalam pengambilan keputusan dan kontrol yang adaptif [26].

1.5.3. Implikasi Fuzzy

Dalam sistem Fuzzy Logic, aturan-aturan atau proposisi-proposisi yang membentuk basis pengetahuan fuzzy dihubungkan dengan suatu relasi fuzzy melalui fungsi implikasi [27]. Fungsi implikasi adalah bagian penting dalam operasi logika fuzzy, yang mengatur bagaimana input fuzzy pada suatu aturan berhubungan dengan output fuzzy. Menurut Reddy dan Poli [28] bentuk umum aturan fuzzy adalah sebagai berikut:

“IF x is A THEN y is B “

Berdasarkan hal itu dapat disimpulkan bahwa x dan y adalah skalar yang mewakili nilai masukan dan keluaran dari suatu sistem, sementara A dan B adalah himpunan fuzzy yang menggambarkan tingkat keanggotaan nilai x dan y dalam suatu himpunan fuzzy. Santoso dan Setiawati [29] menyebutkan terdapat dua fungsi

implikasi yang umum digunakan dalam operasi fuzzy diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Min (Minimum): Fungsi ini menggambarkan hubungan fuzzy dengan menggunakan nilai minimum dari tingkat keanggotaan A dan B. Dalam konteks ini, aturan fuzzy menyatakan bahwa keluaran yang diimplikasikan oleh aturan tersebut adalah nilai minimum dari himpunan keluaran B yang memenuhi himpunan masukan A. Fungsi ini memotong output himpunan fuzzy dan mempertahankan tingkat keanggotaan terendah sebagai hasilnya.
2. Dot (Product): Fungsi ini menggambarkan hubungan fuzzy dengan menggunakan hasil perkalian dari tingkat keanggotaan A dan B. Dalam hal ini, aturan fuzzy menyatakan bahwa keluaran yang diimplikasikan oleh aturan tersebut adalah hasil dari perkalian tingkat keanggotaan masukan A dan keluaran B. Fungsi ini menskala output himpunan fuzzy berdasarkan keanggotaan himpunan masukan.

Kedua fungsi implikasi ini memberikan cara berbeda dalam menentukan sejauh mana suatu aturan fuzzy mempengaruhi nilai output fuzzy. Dalam sistem Fuzzy Logic, pemilihan fungsi implikasi yang tepat adalah kunci untuk menghasilkan hasil yang akurat dan sesuai dengan logika yang diinginkan dalam suatu aplikasi.

1.5.4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses krusial dalam sistem Fuzzy Logic yang mengonversi output fuzzy (yang memiliki nilai keanggotaan) menjadi nilai tegas atau konkret [30]. Meskipun sistem Fuzzy Logic dapat menghasilkan output dalam bentuk fuzzy yang memberikan gambaran distribusi keanggotaan dalam himpunan

fuzzy, kebanyakan aplikasi membutuhkan hasil akhir dalam bentuk nilai tegas untuk pengambilan tindakan yang konkret.

Dalam tahap defuzzifikasi, output fuzzy yang diperoleh dari proses inferensi (yang menghasilkan nilai fuzzy berdasarkan aturan-aturan logika fuzzy) diubah menjadi nilai yang bersifat pasti atau crisp. Proses ini melibatkan fungsi-fungsi penegasan, yang dapat berupa rata-rata tertimbang, nilai pusat massa (centroid), atau metode defuzzifikasi lainnya. Fungsi penegasan ini memberikan indikasi seberapa "pasti" suatu nilai tertentu dalam konteks fuzzy output. Misalnya, jika sistem Fuzzy Logic digunakan untuk mengontrol suhu kolam ikan lele, output fuzzy mungkin termasuk kategori seperti "tinggi," "sedang," dan "rendah." Defuzzifikasi akan mengubah nilai-nilai keanggotaan dalam himpunan ini menjadi nilai suhu konkret, seperti 28°C, yang dapat diimplementasikan dalam pengaturan fisik sistem, seperti menyalakan atau mematikan pemanas.

Defuzzifikasi penting karena sistem inferensi fuzzy hanya dapat membaca nilai yang tegas. Oleh karena itu, tanpa proses defuzzifikasi, hasil fuzzy dari sistem tidak dapat diinterpretasikan atau diimplementasikan secara praktis dalam dunia nyata.