

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam perancangan sistem “Rancang Bangun *Smart Aquaculture System* Untuk Pengendalian Suhu dan Pakan Otomatis pada Ikan Mas Koki”, sangat penting untuk mempelajari beberapa penelitian lain yang terkait dengan sistem otomasi pada budidaya ikan. Khususnya, penelitian-penelitian yang berfokus pada penggunaan mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32, sensor suhu, serta sistem pemberian pakan otomatis yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Studi terhadap penelitian terdahulu ini bertujuan untuk memahami metode yang telah digunakan, kelebihan dan kekurangan sistem yang dikembangkan, serta sebagai dasar dalam merancang sistem yang lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan budidaya ikan mas koki.

Penelitian yang berjudul “Implementasi Sistem Pemberian Pakan Ikan Hias Otomatis Menggunakan ESP32 Berbasis IoT (Internet of Things)” (Sugiarto *et al.*, 2024) mengembangkan sistem pemberian pakan ikan hias secara otomatis dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT), di mana sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan motor servo sebagai aktuator pemberi pakan serta aplikasi Blynk untuk monitoring dan pengendalian jarak jauh. Melalui sistem ini, pengguna dapat mengatur jadwal pemberian pakan secara *real-time* menggunakan *smartphone* sehingga proses pemberian pakan menjadi lebih efisien, tepat waktu, dan konsisten. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik, memiliki ketepatan waktu yang tinggi, serta dapat menjalankan siklus pemberian pakan secara berulang setiap hari tanpa kendala, sehingga penerapan teknologi IoT ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi operasional dan kemudahan dalam pengelolaan akuarium secara modern [4].

Penelitian selanjutnya yang berjudul “Otomatisasi Pemberian Pakan Ikan Nila dan Monitoring Suhu Secara Terjadwal Menggunakan Arduino Uno R3” (Anggraini dan Dzulkiflih, 2022) mengembangkan sistem otomatis yang mampu

memberikan pakan ikan sekaligus memantau suhu air kolam secara terjadwal menggunakan mikrokontroler Arduino Uno R3. Sistem ini memanfaatkan beberapa komponen utama seperti motor servo SG90 sebagai aktuator pembuka wadah pakan, RTC DS3231 untuk pengaturan waktu secara *real-time*, serta sensor suhu DS18B20 untuk memantau kondisi suhu air kolam. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan selama 10 hari (halaman 5–6), sistem mampu memberikan pakan secara otomatis pada waktu yang telah ditentukan yaitu pukul 09.00 dan 16.00 WIB serta menampilkan suhu air kolam secara akurat dengan tingkat *error* yang kecil. Selain itu, sistem juga dilengkapi buzzer sebagai indikator bahwa pakan telah diberikan dan LCD sebagai media tampilan informasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat bekerja secara stabil, terjadwal, dan mampu membantu meningkatkan efisiensi kerja peternak ikan dalam proses pemberian pakan sekaligus monitoring kondisi lingkungan kolam [5].

Penelitian berikutnya yang berjudul “Pengembangan Sistem Pemberi Pakan Ikan Otomatis Berbasis IoT Dengan Pengendalian Jumlah Pakan Melalui *Smartphone*” (Kesuma dan Hasibuan, 2025) mengembangkan sistem pemberian pakan ikan otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat dikontrol melalui *smartphone* untuk meningkatkan efisiensi dalam budidaya ikan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan aplikasi Blynk sehingga memungkinkan pengguna mengatur jadwal pemberian pakan serta menerima notifikasi secara *real-time*. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan selama beberapa hari (halaman 5), sistem mampu bekerja dengan baik dalam memberikan pakan secara otomatis sesuai jadwal, namun masih memiliki keterbatasan dalam pengaturan jumlah pakan yang keluar karena belum dilengkapi sensor pengukur takaran. Hal ini menyebabkan jumlah pakan yang dikeluarkan tidak konsisten, sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan ikan yang bervariasi. Oleh karena itu, penelitian ini juga merekomendasikan pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan sensor seperti photogate atau sensor berat untuk mengontrol takaran pakan secara lebih akurat, sehingga

sistem dapat menjadi lebih optimal dalam mendukung budidaya ikan berbasis teknologi IoT [6].

Penelitian lainnya yang berjudul “Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Otomatis Ikan Lele Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno” (Akbar Pratama dan Arifin Imam Supardi 2023) mengembangkan sistem pemberian pakan ikan otomatis dengan memanfaatkan modul *Real-time* Clock (RTC) DS3231 sebagai pengatur waktu pemberian pakan secara terjadwal. Dalam sistem ini, RTC DS3231 berperan sebagai sumber data waktu yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino Uno untuk menentukan jadwal pemberian pakan secara akurat dan *real-time*. Modul RTC dipilih karena memiliki tingkat akurasi tinggi serta mampu mempertahankan data waktu melalui baterai cadangan, sehingga sistem tetap berjalan meskipun terjadi gangguan daya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa RTC DS3231 dapat bekerja dengan baik dalam mengatur jadwal pemberian pakan pada beberapa waktu yang telah ditentukan, serta mampu menampilkan informasi waktu secara tepat melalui LCD. Dengan demikian, penggunaan RTC dalam sistem otomatisasi ini terbukti efektif dalam meningkatkan ketepatan jadwal pemberian pakan dan mendukung kinerja sistem akuakultur yang lebih terkontrol dan efisien [7].

Sistem “Rancang Bangun *Smart Aquaculture System* untuk Pengendalian Suhu dan Pakan Otomatis pada Ikan Mas Koki” dirancang untuk membantu pengelolaan pemeliharaan ikan agar lebih teratur dan tidak selalu dilakukan secara manual. Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, penggunaan mikrokontroler seperti Arduino Uno dan ESP32 cukup efektif sebagai pusat kendali karena mampu mengintegrasikan berbagai komponen dalam satu sistem, seperti motor servo sebagai penggerak pakan, sensor suhu untuk memantau kondisi air, serta *heater* yang digunakan untuk menjaga suhu air tetap stabil sesuai kebutuhan ikan. Selain itu, modul RTC DS3231 berfungsi mengatur jadwal pemberian pakan secara konsisten, penerapan konsep *Internet of Things* (IoT) melalui aplikasi Blynk memungkinkan sistem dipantau dan dikendalikan melalui aplikasi Blynk.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Smart Aquaculture System*

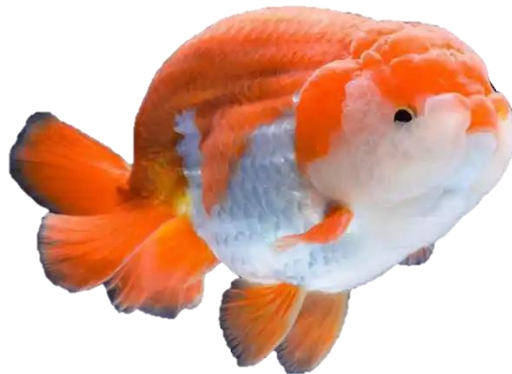
Smart Aquaculture System merupakan sistem budidaya perikanan yang memanfaatkan integrasi teknologi seperti *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI) untuk memantau serta mengendalikan kondisi lingkungan secara otomatis. Sistem ini dirancang untuk menjaga kualitas air agar tetap optimal melalui proses monitoring berkelanjutan dan respons terhadap perubahan kondisi lingkungan. Dalam penerapannya, *Smart Aquaculture System* mampu membantu kegiatan operasional budidaya, terutama dalam mengatasi keterbatasan tenaga kerja serta meningkatkan efektivitas pengelolaan kualitas air. Hal ini dibuktikan melalui implementasi sistem pada budidaya ikan berbasis bioflok yang menunjukkan bahwa teknologi tersebut dapat membantu menjaga kualitas air secara lebih terkontrol dan memberikan kemudahan dalam operasional budidaya [1].

Secara umum, sistem *Smart Aquaculture System* terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor sebagai alat untuk membaca parameter lingkungan, mikrokontroler sebagai pusat pengolahan data, serta aktuator sebagai perangkat keluaran yang melakukan tindakan sesuai kondisi yang terdeteksi. Data yang diperoleh dari sensor akan diproses oleh sistem, kemudian digunakan untuk menentukan tindakan yang diperlukan, seperti mengaktifkan pemanas, pendingin, atau sistem pemberian pakan. Dengan mekanisme ini, kondisi lingkungan dapat dijaga secara otomatis tanpa harus dilakukan pengawasan secara terus-menerus oleh manusia.

Dalam penerapannya pada ikan mas koki, *Smart Aquaculture System* memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan suhu air dan keteraturan pemberian pakan. Sistem ini memungkinkan pengendalian dilakukan secara lebih konsisten dibandingkan metode manual, sehingga dapat mendukung pertumbuhan ikan yang lebih baik. Selain itu, penggunaan sistem otomatis juga memberikan kemudahan bagi pembudidaya dalam mengelola kegiatan budidaya secara lebih praktis dan terstruktur. Oleh karena itu, penerapan *Smart Aquaculture System* menjadi salah satu solusi yang relevan untuk meningkatkan kualitas dan keberhasilan budidaya ikan hias berbasis teknologi.

2.2.2 Ikan mas koki (*Carassius auratus L.*)

Ikan mas koki (*Carassius auratus L.*) merupakan ikan hias air tawar yang populer dan memiliki prospek pengembangan yang baik di Indonesia. Dalam kegiatan pemeliharaannya, salah satu faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan adalah pemberian pakan, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Pakan alami seperti *Tubifex sp.* diketahui memiliki kandungan nutrisi tinggi, khususnya protein yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pakan *Tubifex sp.* dengan dosis tertentu memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bobot ikan mas koki, meskipun tidak berpengaruh nyata terhadap tingkat sintasan. Selain itu, parameter kualitas air seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan amonia juga berada dalam kisaran yang mendukung pertumbuhan ikan selama masa pemeliharaan [8].



Gambar 2. 1 Ikan Mas Koki

Pertumbuhan ikan mas koki pada dasarnya dipengaruhi oleh keseimbangan antara asupan nutrisi dan kondisi lingkungan. Ikan mas koki memerlukan suhu air pada kisaran 27–28°C agar kondisi pemeliharaan tetap optimal [9]. Nutrisi yang cukup terutama protein, akan digunakan untuk pembentukan jaringan tubuh dan peningkatan bobot ikan. Namun, apabila pemberian pakan tidak sesuai dengan kebutuhan, baik terlalu sedikit maupun berlebihan, maka dapat menghambat proses pertumbuhan. Kekurangan pakan menyebabkan energi yang diperoleh tidak

mencukupi untuk pertumbuhan, sedangkan kelebihan pakan dapat menurunkan efisiensi metabolisme serta mencemari kualitas air.

Dalam sistem akuakultur, pengelolaan pakan dan kualitas air menjadi aspek yang saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan. Sisa pakan yang tidak termakan dapat terdegradasi menjadi amonia yang bersifat toksik bagi ikan, sehingga berpotensi menurunkan tingkat kelangsungan hidup. Oleh karena itu penerapan sistem otomatis seperti *Smart Aquaculture System* yang mampu mengontrol pemberian pakan dan memantau kualitas air secara *real-time* menjadi solusi yang efektif. Sistem ini dapat menjaga kondisi lingkungan tetap optimal sehingga mendukung pertumbuhan ikan mas koki secara maksimal.

2.2.3 Arduino IDE (*Integrated Development Environment*)

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang dikembangkan untuk memudahkan proses pemrograman pada papan mikrokontroler Arduino. IDE ini merupakan turunan dari *Software Processing* yang berbasis pemrograman visual, serta dibangun menggunakan bahasa Java agar mampu mengakomodasi kebutuhan spesifik dalam pengembangan sistem Arduino. Sebagai lingkungan pemrograman yang terintegrasi, Arduino IDE menyediakan fasilitas untuk menulis, mengompilasi, hingga mengunggah program dalam satu aplikasi, sehingga alur pengembangan menjadi lebih praktis tanpa harus berpindah antar perangkat lunak.

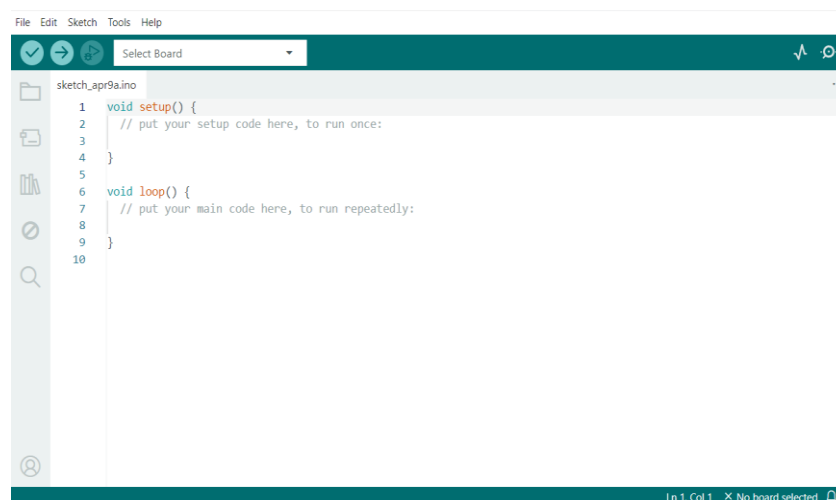
Bahasa pemrograman yang digunakan dalam Arduino IDE dikenal sebagai “*sketch*”, yang memiliki kemiripan dengan bahasa C namun telah disederhanakan. Penyederhanaan ini bertujuan agar pengguna, khususnya pemula, lebih mudah memahami struktur sintaks dan logika pemrograman tanpa harus menghadapi kompleksitas bahasa tingkat rendah. Dengan demikian, proses pembelajaran dan pengembangan program dapat dilakukan dengan lebih cepat dan intuitif.

Pada setiap papan Arduino, telah terpasang program awal yang disebut *Bootloader* sebelum perangkat didistribusikan. *Bootloader* berfungsi sebagai perantara antara *compiler* pada Arduino IDE dengan mikrokontroler. Melalui mekanisme ini, program yang telah dikompilasi dapat langsung diunggah dari

komputer ke mikrokontroler menggunakan koneksi USB. Setelah proses unggah selesai, mikrokontroler akan menjalankan instruksi sesuai dengan *sketch* yang telah dimasukkan.

Selain itu, Arduino IDE juga menyediakan pustaka (*library*) berbasis bahasa C/C++ yang dikenal sebagai Wiring. *Library* ini berisi kumpulan fungsi yang dirancang untuk mempermudah proses *input-output* (I/O), seperti membaca data dari sensor, mengendalikan aktuator, serta berkomunikasi dengan berbagai perangkat tambahan. Dengan adanya Wiring, pengguna dapat lebih fokus pada pengembangan logika program tanpa harus menangani detail teknis yang kompleks.

Secara umum, Arduino IDE terdiri dari tiga komponen utama, yaitu *editor program*, *compiler*, dan *uploader*. *Editor program* digunakan untuk menulis dan mengedit kode, *compiler* bertugas mengubah kode sumber menjadi kode biner yang dapat dipahami oleh mikrokontroler, sedangkan *uploader* berfungsi untuk mentransfer kode biner tersebut ke dalam memori mikrokontroler pada papan Arduino agar program dapat dijalankan. Tampilan utama Arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Tampilan Arduino IDE

2.2.4 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif dan banyak digunakan dalam sistem berbasis *Internet*

ESP32 memiliki sejumlah fitur dasar yang mendukung berbagai kebutuhan aplikasi berbasis *mikrokontroler*. Perangkat ini dilengkapi total 30 pin yang mencakup pin tegangan serta GPIO yang dapat digunakan sebagai *input* maupun *output*. Selain itu, ESP32 menyediakan pin ADC untuk proses konversi sinyal analog ke digital, serta dua pin DAC yang memungkinkan pengubahan sinyal digital kembali menjadi analog. Untuk komunikasi data, *mikrokontroler* ini memiliki tiga jalur UART, tiga tampilan SPI, dan dua tampilan I²C. ESP32 juga dibekali 16 pin PWM yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal pulsa dengan lebar yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Rincian spesifikasi Arduino ESP32 disajikan pada Tabel 2-1 berikut.

Tabel 2 - 1 Spesifikasi ESP32

Parameter	Keterangan
Prosesor	Xtensa® 32-bit LX6 (single/dual-core)
Frekuensi CPU	Hingga 240 MHz
Kinerja	Hingga 600 MIPS
Memori ROM	448 KB
Memori SRAM	520 KB
RTC Memory	16 KB
Wi-Fi	802.11 b/g/n (2.4 GHz)
Bluetooth	Bluetooth v4.2 (BR/EDR + BLE)
GPIO	30 pin
ADC	12-bit, hingga 18 channel
DAC	2 channel (8-bit)
Interface Komunikasi	UART (3), SPI (4), I ² C (2), I2S (2)
Tegangan Operasi	2,3 V – 3,6 V

2.2.5 Sensor DS18B20

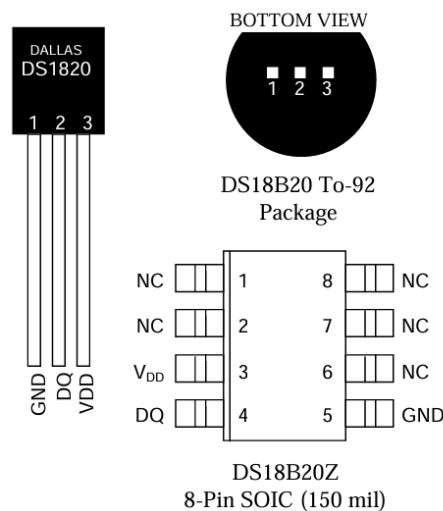
Sensor DS18B20 merupakan sensor suhu digital yang memiliki keunggulan dalam hal akurasi dan kemudahan integrasi dengan mikrokontroler. Sensor ini bekerja menggunakan protokol komunikasi *1-Wire* sehingga hanya memerlukan satu pin untuk proses pembacaan data suhu. Selain itu, DS18B20 memiliki rentang pengukuran suhu yang cukup luas, yaitu dari -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ dengan tingkat akurasi sekitar $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sehingga mampu menghasilkan data suhu yang relatif stabil dan presisi. Karakteristik tersebut menjadikan sensor ini banyak digunakan dalam berbagai sistem pemantauan suhu berbasis mikrokontroler [11]. Tampilan sensor suhu DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 bekerja dengan prinsip mengubah suhu menjadi data digital yang disimpan dalam memori internal (*scratchpad*), sehingga hasil pengukuran dapat langsung dibaca melalui komunikasi *1-Wire* tanpa memerlukan konversi tambahan. Sensor ini memiliki resolusi yang dapat diatur antara 9 hingga 12 bit, yang mempengaruhi tingkat ketelitian hasil pengukuran suhu, serta menghasilkan data dalam format digital 16-bit yang dapat diakses oleh mikrokontroler setelah proses konversi selesai. Selain itu, DS18B20 dilengkapi dengan memori *non-volatile* untuk menyimpan batas suhu (*alarm trigger*) dan register konfigurasi yang memungkinkan pengaturan sistem sesuai kebutuhan. Setiap sensor juga memiliki kode identitas 64-bit yang memungkinkan beberapa

sensor digunakan dalam satu jalur komunikasi yang sama, sehingga mendukung sistem monitoring suhu terdistribusi. Sensor ini terdiri dari komponen utama seperti elemen sensor suhu, memori, register konfigurasi, dan antarmuka komunikasi yang terintegrasi dalam satu chip. Susunan pin sensor DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Pin Sensor DS18B20

Secara umum penggunaan sensor DS18B20 dalam suatu sistem memberikan kemudahan dalam perancangan perangkat karena integrasinya yang sederhana dan efisien. Dengan hanya menggunakan satu jalur komunikasi, sistem menjadi lebih ringkas dan hemat pin pada mikrokontroler. Selain itu, kemampuan sensor dalam memberikan data yang stabil dan akurat menjadikannya pilihan yang tepat untuk berbagai aplikasi seperti sistem kontrol suhu, akuakultur, maupun perangkat IoT. Oleh karena itu, DS18B20 dapat dikatakan sebagai solusi sensor suhu yang praktis, andal, dan sesuai untuk pengembangan sistem monitoring suhu modern. Rincian spesifikasi sensor DS18B20 disajikan pada Tabel 2-2 berikut.

Tabel 2 - 2 Spesifikasi Sensor DS18B20

Parameter	Keterangan
Tipe Sensor	Digital Temperatur Sensor
Interface	1-Wire (Single data line)
Tegangan	3.0V – 5.5V

Parameter	Keterangan
Rentang Pengukuran Suhu	-55°C hingga 125°C
Akurasi	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (-10°C hingga +85°C)
Waktu konversi	Maks. 750 ms
Arus Operasi	1 – 1.5 mA

2.2.6 Aplikasi Blynk

Aplikasi Blynk merupakan sebuah platform yang dirancang untuk mendukung pengembangan berbagai proyek berbasis *Internet of Things* (IoT). Melalui aplikasi *mobile* yang tersedia pada sistem operasi Android dan iOS, Blynk memungkinkan pengguna untuk mengontrol perangkat seperti Arduino, Raspberry Pi, ESP8266, Wemos D1, dan modul lainnya dari jarak jauh menggunakan koneksi internet. Selain itu, aplikasi ini menyediakan fitur pembuatan antarmuka grafis yang dapat disusun secara fleksibel dengan metode *drag and drop*, sehingga proses konfigurasi menjadi lebih mudah dan efisien [12].

Secara umum, penggunaan Blynk dalam suatu sistem memungkinkan proses monitoring dan pengendalian perangkat dilakukan secara lebih terintegrasi dan responsif. Data dari sensor dapat ditampilkan secara *real-time* pada aplikasi, sementara perintah dari pengguna dapat langsung diteruskan ke perangkat keras melalui koneksi internet. Hal ini memberikan kemudahan dalam pengelolaan sistem tanpa harus berada di lokasi perangkat. Dengan kemampuan tersebut, Blynk sangat cocok diterapkan pada berbagai aplikasi seperti sistem kontrol suhu, monitoring lingkungan, maupun sistem otomatisasi lainnya yang membutuhkan akses jarak jauh secara praktis dan efisien.

Aplikasi Blynk terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

a. **Blynk Apps**



Gambar 2. 7 Logo Aplikasi Blynk

Blynk Apps merupakan aplikasi berbasis *smartphone* yang digunakan untuk merancang tampilan monitoring dan kendali. Melalui aplikasi ini, pengguna dapat menambahkan berbagai *widget input* dan *input* untuk menampilkan data sensor dalam bentuk angka maupun grafik, serta mengirim perintah kendali ke perangkat keras secara langsung. Alur kerja platform Blynk dalam proses komunikasi antara perangkat dan aplikasi disajikan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Blynk Working Flowchart

Aplikasi ini memiliki beberapa kategori komponen, yaitu:

- **Controller:** Berfungsi untuk mengirimkan data maupun instruksi dari aplikasi menuju perangkat keras.
- **Display:** Digunakan untuk menampilkan informasi atau data yang diterima dari perangkat keras ke layar *smartphone*.
- **Notification:** Berperan dalam memberikan pesan atau pemberitahuan kepada pengguna secara langsung.
- **Interface:** Bertugas mengatur tampilan antarmuka aplikasi, termasuk pengelolaan menu dan tab.
- **Others:** Merupakan komponen tambahan di luar kategori utama, seperti RTC, Bridge, dan Bluetooth.

b. Blynk Server

Blynk *Server* berfungsi sebagai layanan *backend* yang mengelola komunikasi data antara aplikasi Blynk dan perangkat keras. Server ini bertanggung jawab dalam menerima, menyimpan, dan meneruskan data sehingga proses monitoring dan kendali dapat berlangsung secara *real-time*.

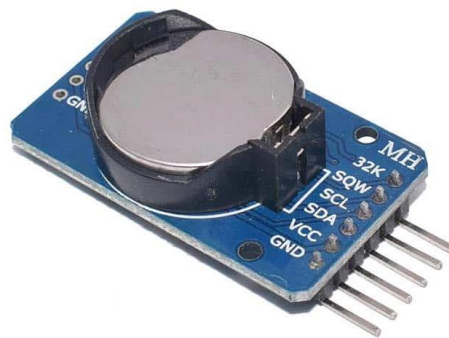
c. Blynk Library

Blynk *Library* merupakan pustaka program yang ditanamkan pada *mikrokontroler* untuk memudahkan integrasi dengan sistem Blynk. berfungsi mempermudah perangkat keras dalam melakukan komunikasi dua arah dengan

Blynk Server secara efektif, sekaligus mendukung integrasi pada beragam platform perangkat *IoT*.

2.2.7 RTC DS3231

Modul RTC DS3231 digunakan sebagai penyedia informasi waktu dan tanggal secara akurat untuk mendukung penjadwalan sistem. Bentuk perangkat tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2. 9 RTC DS3231

RTC DS3231 memiliki tingkat akurasi tinggi karena menggunakan Temperature Compensated Crystal Oscillator (TCXO) dengan kristal 32 kHz sebagai sumber clock. Teknologi ini memungkinkan kestabilan frekuensi yang baik sehingga kesalahan waktu dapat ditekan hingga sekitar ± 2 menit per tahun pada rentang suhu -40°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$. Selain itu, DS3231 juga menyediakan keluaran frekuensi pada pin 32 kHz yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sinkronisasi sistem. Dengan karakteristik tersebut, modul ini sangat cocok digunakan pada sistem yang membutuhkan ketelitian waktu dalam berbagai kondisi lingkungan.

RTC DS3231 bekerja sebagai sistem jam dan kalender berdaya rendah yang mampu menyimpan informasi waktu secara lengkap, meliputi detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun. Sistem kalender pada modul ini dirancang cerdas karena mampu menyesuaikan jumlah hari dalam setiap bulan secara otomatis, termasuk koreksi pada tahun kabisat. Format waktu yang didukung juga fleksibel, yaitu dapat menggunakan format 24 jam maupun 12 jam dengan indikator AM/PM. Komunikasi data dilakukan melalui antarmuka I²C, sehingga memudahkan

integrasi dengan mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino dalam sistem berbasis otomasi maupun monitoring.

RTC DS3231 dilengkapi dua alarm yang dapat diprogram serta *input* gelombang persegi yang juga dapat diatur sesuai kebutuhan. Pin INT/SQW berfungsi sebagai keluaran interupsi saat kondisi alarm tercapai atau sebagai pembangkit sinyal gelombang persegi, dengan mode yang dikendalikan melalui register internal. Modul ini juga memiliki sistem pemantauan tegangan yang mampu mendeteksi kegagalan daya dan secara otomatis beralih ke sumber cadangan (*backup battery*), sehingga data waktu tetap terjaga. Selain itu, pin RST dapat digunakan sebagai indikator kondisi *power fail* sekaligus tombol reset eksternal.

2.2.8 *Submersible heater*

Submersible heater merupakan perangkat pemanas air yang dirancang untuk bekerja dalam kondisi terendam di dalam akuarium guna menjaga suhu air tetap stabil. Alat ini menggunakan elemen pemanas resistif yang mengubah energi listrik menjadi energi panas saat dialiri tegangan 220–240 volt. Pada spesifikasi daya 200 W, *heater* mampu menghasilkan panas yang lebih besar sehingga proses peningkatan suhu air menjadi lebih cepat dan efektif. Bentuk fisik *submersible heater* yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 2.10.



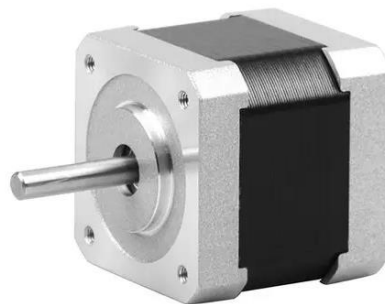
Gambar 2. 10 *Submersible Heater*

Dalam penerapannya pada ikan mas koki (*Carassius auratus*), kestabilan suhu air menjadi faktor penting dalam menjaga kesehatan dan pertumbuhan ikan. Ikan mas koki memiliki kisaran suhu ideal antara 27–28°C agar metabolisme dan pertumbuhannya dapat berlangsung dengan baik. Suhu yang terlalu rendah dapat

memperlambat aktivitas tubuh ikan, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stres serta menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air. Oleh karena itu, penggunaan *submersible heater* dengan daya 200 W dan tegangan 220–240 volt menjadi solusi yang efektif untuk menjaga suhu air tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan ikan koki.

2.2.9 Motor Stepper

Motor stepper merupakan salah satu jenis motor listrik yang bekerja dengan mengubah pulsa listrik menjadi gerakan putar yang berlangsung secara bertahap atau per langkah (*step*). Bentuk fisik motor stepper yang digunakan dalam tugas akhir ini disajikan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Motor Stepper

Setiap langkah yang dihasilkan memiliki besar sudut yang tetap sehingga posisi motor dapat dikendalikan dengan cukup presisi tanpa memerlukan sensor umpan balik tambahan. Salah satu tipe motor stepper yang banyak digunakan adalah NEMA17, yaitu motor yang memiliki ukuran *faceplate* 42×42 mm sesuai standar *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA). Motor ini banyak diaplikasikan pada sistem otomasi karena memiliki akurasi gerak yang baik, torsi yang cukup besar, serta mudah dihubungkan dengan berbagai mikrokontroler seperti ESP32 maupun Arduino [13]. Pada sistem *Smart Aquaculture System*, motor stepper NEMA17 dapat digunakan sebagai aktuator pada mekanisme pemberian pakan otomatis dengan memanfaatkan gerakan rotasinya untuk menggerakkan auger atau penyalur pakan sesuai kebutuhan ikan mas koki.

Motor stepper NEMA17 umumnya menggunakan konfigurasi bipolar dua fase dengan sudut langkah sebesar $1,8^\circ$ untuk setiap *step*. Dengan spesifikasi tersebut, motor memerlukan 200 langkah untuk menghasilkan satu putaran penuh sebesar 360° . Prinsip kerjanya didasarkan pada interaksi medan magnet yang terbentuk antara stator yang memiliki lilitan dan rotor yang berada di dalam motor. Ketika arus dialirkan secara bergantian ke setiap kumparan stator sesuai urutan tertentu, rotor akan bergerak mengikuti perubahan medan magnet tersebut sehingga menghasilkan putaran secara bertahap [14]. Motor stepper memiliki keunggulan dibandingkan motor DC konvensional berupa kemampuan mempertahankan posisi atau *holding torque* saat motor tidak menerima perintah gerak. Kemampuan ini sangat bermanfaat pada sistem pemberian pakan otomatis karena dapat membantu mencegah keluarnya pakan secara tidak sengaja akibat pengaruh gravitasi, sehingga jumlah pakan yang diberikan tetap lebih terkontrol.

Pada sistem pemberian pakan ikan otomatis, motor stepper NEMA17 dikendalikan oleh mikrokontroler melalui modul driver dengan memanfaatkan sinyal STEP dan DIR. Sinyal STEP berfungsi untuk menentukan jumlah langkah yang ditempuh motor, sedangkan sinyal DIR digunakan untuk mengatur arah putarannya. Melalui pengaturan kedua sinyal tersebut putaran motor dapat dikendalikan sesuai kebutuhan sehingga jumlah pakan yang dikeluarkan menjadi lebih terukur. Semakin banyak pulsa yang diberikan maka semakin besar sudut putaran motor yang dihasilkan dan semakin banyak pakan yang keluar dari wadah penampung. Sistem dapat mengatur jumlah pakan berdasarkan hasil kalibrasi yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Patonra *et al.* menunjukkan bahwa motor stepper yang dikendalikan menggunakan driver TB6600 mampu mencapai resolusi gerakan hingga $0,05625^\circ$ per pulsa pada mode *microstepping*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi motor stepper dan driver memiliki tingkat akurasi yang tinggi sehingga sesuai digunakan pada sistem pemberian pakan otomatis yang memerlukan pengaturan jumlah pakan [14]. Spesifikasi motor stepper NEMA17 yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 2-3.

Tabel 2 - 3 Spesifikasi Motor Stepper NEMA17

Parameter	Keterangan
Tipe Motor	Bipolar <i>Stepper Motor</i>
Sudut Langkah	$1,8^{\circ} \pm 5\%$ (200 step/rev)
Arus per Fase	1,7 A
Tegangan Operasi	12 V DC
Resistansi per Fase	$1,5 \Omega \pm 10\%$
Induktansi per Fase	$2,8 \text{ mH} \pm 20\%$
Torsi Holding	40 N.Cm
Jumlah Kabel	4 kabel (bipolar)
Dimensi <i>Faceplate</i>	$42 \times 42 \text{ mm}$

2.2.10 Motor Driver TB6600

Driver motor stepper TB6600 merupakan salah satu modul driver yang digunakan untuk mengendalikan motor stepper bipolar, terutama pada motor yang memerlukan arus dan tegangan lebih besar dibandingkan modul driver berkapasitas rendah seperti A4988. Modul ini menerima sinyal kendali dari mikrokontroler untuk mengatur arah putaran, jumlah langkah, dan kecepatan motor. Tampilan motor driver TB6600 ditunjukkan pada Gambar 2.12.

**Gambar 2. 12 Motor Driver TB6600**

Modul ini berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dan motor stepper dengan cara menerjemahkan sinyal kendali bertegangan rendah dari

mikrokontroler menjadi daya yang cukup untuk menggerakkan motor. Penggunaan driver diperlukan karena mikrokontroler tidak dapat langsung menyuplai arus yang dibutuhkan oleh motor stepper khususnya motor NEMA17 yang digunakan pada tugas akhir ini [14]. TB6600 memiliki fitur *microstepping* hingga 1/32 langkah yang membuat pergerakan motor menjadi lebih halus dan stabil. Pada sistem pemberian pakan otomatis, gerakan yang lebih halus dapat membantu proses penyaluran pakan berjalan dengan lebih teratur sehingga jumlah pakan yang keluar dapat lebih terkontrol.

Driver TB6600 dikendalikan melalui tiga sinyal utama, yaitu STEP, DIR, dan EN yang berasal dari mikrokontroler. Sinyal STEP digunakan untuk menentukan jumlah langkah motor, sedangkan sinyal DIR berfungsi mengatur arah putaran motor. Sementara itu, sinyal EN digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan driver ketika diperlukan. Setiap pulsa yang dikirimkan ke pin STEP akan menghasilkan satu langkah gerakan motor sesuai pengaturan *microstepping* yang dipilih. Driver ini juga telah dilengkapi dengan beberapa fitur proteksi, seperti perlindungan terhadap arus berlebih, suhu berlebih, dan tegangan berlebih sehingga penggunaannya lebih aman dan dapat meminimalkan risiko kerusakan komponen [15].

Salah satu keunggulan driver TB6600 adalah tersedianya DIP switch yang dapat digunakan untuk mengatur besar arus keluaran dan tingkat *microstepping* sesuai kebutuhan sistem. Pengaturan ini penting agar motor dapat bekerja secara optimal tanpa mengalami panas berlebih selama proses operasi. Penelitian yang dilakukan oleh Aripriharta *et al.* menunjukkan bahwa penggunaan driver TB6600 mampu menghasilkan pengendalian kecepatan motor yang stabil dengan nilai *error* yang relatif kecil pada berbagai variasi frekuensi [15]. Spesifikasi motor driver TB6600 dapat dilihat pada Tabel 2-4.

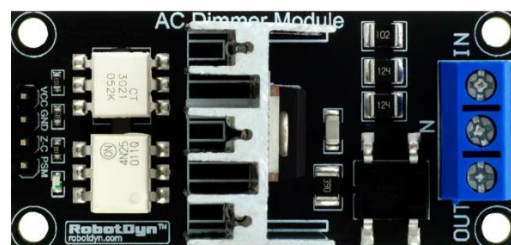
Tabel 2 - 4 Spesifikasi Motor Driver TB6600

Parameter	Keterangan
Tegangan <i>Input</i>	9 – 42 V DC
Arus Keluaran (maks.)	4,0 A (puncak)

Parameter	Keterangan
Arus Keluaran (<i>setting</i>)	0,5 A – 4,0 A (6 level via DIP switch)
Resolusi <i>Microstepping</i>	Full, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 step
Sinyal Kendali	STEP, DIR, EN (3,3 V / 5 V TTL)
Frekuensi Sinyal Maks.	200 kHz
Proteksi	<i>Over-currentt, over-temperature, under-voltage</i>
Komunikasi	<i>Step/Direction</i> (STEP, DIR, EN)
Dimensi	96 × 56 × 33 mm

2.2.11 AC Light Dimmer

AC Light Dimmer merupakan modul yang digunakan untuk mengatur besar daya listrik AC yang diberikan ke beban, seperti lampu pijar maupun elemen pemanas (*heater*). Modul *AC Light Dimmer* yang digunakan dalam tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 AC Light Dimmer

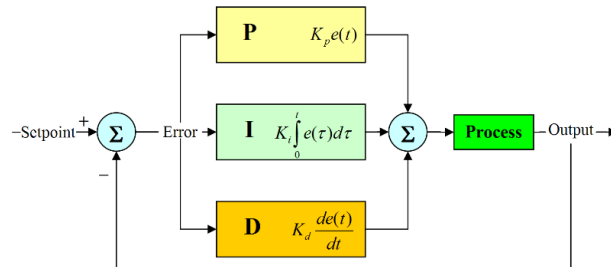
Modul ini bekerja dengan memanfaatkan TRIAC sebagai komponen utama untuk mengendalikan aliran daya listrik AC. Metode yang digunakan adalah *phase-cutting*, yaitu mengatur bagian gelombang AC yang dihantarkan ke beban pada setiap siklus sehingga daya yang diterima dapat disesuaikan sesuai kebutuhan [16]. Dengan metode tersebut, daya keluaran tidak hanya berada pada kondisi hidup atau mati, tetapi dapat diatur secara bertahap. Pada penelitian ini, *AC Light Dimmer* digunakan untuk mengontrol daya yang diberikan ke *submersible heater* sehingga proses pengaturan suhu air dapat dilakukan secara lebih halus dibandingkan metode kontrol *on-off*.

Cara kerja modul *AC Light Dimmer* memanfaatkan dua proses utama, yaitu deteksi *zero-crossing* dan pengaturan waktu pemicuan TRIAC. *Zero crossing detector* berfungsi mendeteksi saat gelombang AC melewati titik nol, baik dari arah positif ke negatif maupun sebaliknya. Informasi tersebut kemudian dikirimkan ke mikrokontroler melalui pin ZC (*zero-crossing*) sebagai acuan untuk menentukan waktu tunda sebelum memberikan sinyal pemicu ke TRIAC melalui pin PSM [16]. Besarnya waktu tunda yang diberikan akan memengaruhi jumlah gelombang AC yang diteruskan ke beban. Semakin besar waktu tunda, semakin kecil daya yang diterima beban, sedangkan waktu tunda yang lebih kecil akan menghasilkan daya yang lebih besar. Pada sistem kelistrikan dengan frekuensi 50 Hz, proses *zero-crossing* terjadi sebanyak 100 kali dalam satu detik sehingga pengaturan daya dapat dilakukan dengan cukup presisi. *AC Light Dimmer* memiliki keunggulan dibandingkan relay konvensional karena mampu mengatur daya yang diberikan ke beban secara bertahap sesuai kebutuhan sistem. Kemampuan ini membuat modul lebih sesuai digunakan pada kontrol PID yang memerlukan keluaran secara kontinu untuk menjaga suhu tetap stabil. Selain itu, modul ini dilengkapi dengan *optocoupler* yang berfungsi memisahkan rangkaian tegangan tinggi AC 220 V dengan rangkaian mikrokontroler, sehingga keamanan sistem dapat lebih terjaga. Desain modul yang kompak serta kemudahan integrasinya dengan mikrokontroler juga menjadikannya banyak digunakan dalam berbagai aplikasi otomasi. pengendalian daya menggunakan TRIAC berbasis mikrokontroler dapat dilakukan dengan mengatur waktu pemicuan TRIAC, sehingga tegangan dan daya yang diterima beban dapat dikendalikan sesuai kebutuhan .

2.2.12 Proportional Integral Derivative (PID)

Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) merupakan metode pengendalian yang menggunakan mekanisme umpan balik (*feedback*) untuk menghasilkan respons sistem sesuai nilai yang diinginkan. Metode ini terdiri atas tiga komponen, yaitu *proportional* (P), *integral* (I), dan *derivative* (D), yang dapat digunakan secara terpisah maupun dikombinasikan sesuai kebutuhan sistem [18]. Pengaturan parameter pada setiap komponen dilakukan untuk memperoleh respons

yang cepat, stabil, dan mendekati nilai *setpoint*. Diagram blok PID disajikan pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Diagram Blok kontrol PID

Pada diagram blok sistem kontrol PID, *setpoint* berperan sebagai nilai acuan atau target yang ingin dicapai oleh sistem. Selanjutnya, parameter PID digunakan untuk mengatur sinyal masukan ke proses agar keluaran yang dihasilkan dapat mendekati nilai yang diinginkan [19]. Kontrol PID dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Keterangan:

$u(t)$: Controller Input

K_p : Gain Proportional

T_i : Time Integral

$e(t)$: Error

A. Proportional Control

Kontrol *proportional* (P) merupakan metode pengendalian yang menghasilkan sinyal keluaran sebanding dengan besar *error*, yaitu selisih antara nilai *setpoint* dan nilai aktual. Semakin besar *error* yang terjadi, semakin besar pula sinyal kendali yang dihasilkan sesuai nilai konstanta penguat (*gain*). Persamaan kontrol *proportional* dirumuskan sebagai berikut [19].

$$u(t) = K_p e(t)$$

K_p merupakan konstanta penguat pada bagian *proportional*, e menyatakan nilai *error*, sedangkan u adalah sinyal keluaran sistem yang dinyatakan sebagai fungsi terhadap waktu t .

B. *Integral Control*

Integral control berfungsi untuk menghilangkan steady state *error* hingga mendekati nol. Pada sistem yang tidak memiliki elemen integrator ($1/s$), penggunaan kontrol proportional saja tidak cukup untuk memastikan keluaran sistem tepat mencapai nilai yang diinginkan. Oleh karena itu, diperlukan penambahan komponen integral agar kesalahan yang tersisa dapat dikoreksi dan sistem dapat mencapai kondisi yang diharapkan [19]. Persamaan kontrol *integral* dirumuskan sebagai berikut.

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

K_i menyatakan konstanta penguat pada komponen *integral*, e adalah nilai kesalahan (*error*), sedangkan u merupakan sinyal keluaran yang bergantung terhadap waktu t .

C. *Derivative Control*

Besarnya keluaran dari kontrol derivative memiliki karakteristik yang menyerupai operasi diferensial. Metode ini memanfaatkan laju perubahan sinyal *error* sebagai dasar dalam menentukan aksi kendali. Jika tidak terjadi perubahan pada nilai *error*, maka sinyal keluaran dari kontrol derivative juga tidak akan mengalami perubahan [20]. hubungan pada kontrol derivative dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut: [19]. Persamaan kontrol *derivative* dirumuskan sebagai berikut.

$$u(t) = K_D \frac{d}{dt} e(t)$$

K_D menyatakan konstanta pada komponen derivative, e adalah nilai kesalahan (*error*), sedangkan u merupakan sinyal keluaran yang dinyatakan sebagai fungsi terhadap waktu (t).