

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tahap Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis melalui serangkaian tahapan yang bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, serta menguji sistem kendali lengan robot berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan aplikasi Blynk. Setiap tahapan dilakukan secara berurutan guna menjamin keberhasilan dalam pencapaian tujuan penelitian. Adapun tahapan-tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Adapun tahapan penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut:

##### **1. Identifikasi Kebutuhan**

Tahap awal dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan yang berkaitan dengan sistem kendali berbasis Internet of Things (IoT), khususnya pada aspek latensi yang terjadi saat proses pengiriman perintah dari aplikasi ke aktuator lengan robot. Permasalahan ini menjadi penting karena latensi mempengaruhi respon sistem dan efisiensi waktu dalam kendali gerakan robotik.

##### **2. Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori yang relevan, mencakup teknologi ESP32, komunikasi berbasis WiFi, prinsip kerja servo motor, konsep latensi dalam sistem embedded, serta penggunaan

aplikasi Blynk sebagai platform kendali jarak jauh. Studi ini bertujuan memperkuat kerangka berpikir dan landasan konseptual penelitian.

### **3. Perancangan Sistem**

Tahap ini mencakup perancangan baik dari sisi perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*). Pada sisi perangkat keras, dirancang sistem kendali lengan robot menggunakan ESP32 dan empat buah servo motor sebagai aktuator utama. Sementara pada sisi perangkat lunak, dilakukan pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE, serta integrasi dengan aplikasi Blynk untuk mengontrol gerakan lengan robot secara nirkabel melalui jaringan WiFi.

### **4. Implementasi**

Setelah proses perancangan selesai, dilakukan implementasi dan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak. Pada tahap ini dilakukan pemasangan komponen secara fisik serta pengujian awal untuk memastikan komunikasi antara ESP32, servo motor, dan aplikasi Blynk dapat berjalan dengan baik.

### **5. Pengujian**

Tahap ini berfokus pada pengujian sistem kendali dengan mengukur latensi yang terjadi pada setiap perintah gerakan. Dalam penelitian ini, latensi didefinisikan sebagai selisih waktu antara pengiriman perintah dari aplikasi Blynk hingga servo menyelesaikan pergerakannya. Karena keterbatasan perangkat dalam mendeteksi posisi akhir servo secara langsung, maka digunakan pendekatan waktu tunda tetap (delay).

Pendekatan ini didasarkan pada estimasi waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh servo untuk menyelesaikan gerakan penuh dari satu posisi ke posisi lainnya.

Dengan melalui tahapan-tahapan tersebut secara sistematis, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk menghasilkan sebuah sistem kendali lengan robot yang berfungsi secara teknis, tetapi juga untuk memperoleh pemahaman yang menyeluruh terhadap karakteristik respon sistem, khususnya dalam hal latensi komunikasi antara pengguna dan perangkat. Pendekatan yang digunakan dalam setiap tahapan dirancang untuk menjawab permasalahan utama secara terstruktur, mulai dari identifikasi kebutuhan sistem, integrasi teknologi IoT, hingga validasi performa melalui pengujian dan analisis data.

### 3.2 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah penelitian terapan (applied research), yang bertujuan untuk mengembangkan solusi praktis melalui pemanfaatan teknologi terkini. Dalam hal ini, solusi yang dikembangkan berupa sistem kendali lengan robot berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan aplikasi Blynk sebagai antarmuka kendali jarak jauh.

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen. Pendekatan kuantitatif digunakan karena pengumpulan data dilakukan dalam bentuk angka, yakni pengukuran nilai latensi dalam satuan milidetik (ms). Metode eksperimen dipilih karena penelitian ini melibatkan proses pengujian terhadap suatu rancangan sistem dalam kondisi tertentu, guna mengamati

hasil yang ditimbulkan dari perlakuan yang diberikan, yaitu pengiriman perintah gerakan melalui jaringan WiFi.

Eksperimen dilakukan dengan mengamati nilai latensi yang terjadi pada saat perintah dikirim dari aplikasi Blynk dan dieksekusi oleh servo motor hingga pergerakan selesai. Dalam konteks ini, latensi didefinisikan sebagai total waktu dari perintah dikirim hingga aktuator menyelesaikan seluruh gerakannya. Karena keterbatasan perangkat dalam mendeteksi posisi akhir servo secara langsung, digunakan pendekatan waktu delay sebagai estimasi penyelesaian gerakan berdasarkan karakteristik dari servo MG90S yang digunakan. Pendekatan ini memungkinkan dilakukannya perhitungan latensi secara lebih realistik, meskipun tanpa umpan balik posisi yang akurat.

Dengan menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental ini, diharapkan hasil penelitian mampu memberikan gambaran yang jelas dan terukur mengenai performa sistem kendali lengan robot, khususnya dalam aspek waktu respon dan efisiensi kendali secara nirkabel.

### 3.3 Desain Rancangan Sistem

Desain rancangan sistem merupakan tahap penting dalam pembangunan sistem kendali lengan robot berbasis mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan aplikasi Blynk melalui jaringan WiFi. Tahap ini mencakup perancangan dari dua sisi utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak, yang keduanya harus saling terintegrasi secara optimal agar sistem dapat berjalan sesuai dengan tujuan penelitian.

Pada sisi perangkat keras, dilakukan perancangan terhadap konfigurasi komponen utama seperti ESP32, motor servo MG90S, dan sumber daya listrik yang mendukung keseluruhan sistem. Perancangan ini bertujuan untuk memastikan semua komponen dapat beroperasi dengan stabil dan mendukung pergerakan mekanis lengan robot secara presisi.

Sementara itu, pada sisi perangkat lunak dilakukan proses pemrograman mikrokontroler menggunakan Arduino IDE, serta integrasi dengan aplikasi Blynk untuk memungkinkan kontrol jarak jauh melalui antarmuka pengguna di perangkat seluler. Perancangan logika kendali juga dilakukan agar setiap instruksi dari pengguna dapat dieksekusi dengan responsif dan data latensi dapat dikumpulkan secara akurat.

Desain sistem secara menyeluruh mencakup rancangan alur kendali, mekanisme komunikasi, hingga strategi pengukuran latensi yang menggunakan pendekatan waktu tunda tetap untuk memperkirakan waktu penyelesaian gerakan servo. Semua komponen desain ini dirancang agar dapat saling mendukung dan berfungsi sebagai satu kesatuan sistem kendali robotik berbasis IoT.

### 3.3.1 Rancangan Perangkat Keras

Perangkat keras dalam penelitian ini dirancang dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang menerima instruksi dari pengguna melalui jaringan WiFi. ESP32 dipilih karena memiliki konektivitas nirkabel bawaan serta jumlah pin digital yang memadai untuk mengatur beberapa aktuator secara bersamaan.

Aktuator yang digunakan berupa empat buah servo motor MG90S, masing-masing difungsikan untuk menggerakkan bagian lengan robot, yaitu grip, wrist, arm, dan shoulder. Servo jenis ini memiliki karakteristik responsif dengan torsi yang cukup untuk keperluan beban ringan dan kompatibel dengan sinyal PWM yang dihasilkan oleh ESP32.

Seluruh komponen elektronik dihubungkan menggunakan breadboard dan kabel jumper, yang memungkinkan penyusunan sistem secara fleksibel dan memudahkan proses eksperimen maupun modifikasi rangkaian. Pasokan daya untuk seluruh rangkaian diperoleh langsung dari koneksi USB ke ESP32, mengingat beban servo yang relatif ringan dan penggunaan secara bergantian, bukan simultan.

Dengan konfigurasi perangkat keras seperti ini, sistem lengan robot dapat menerima perintah dari aplikasi Blynk, mengeksekusinya melalui servo, serta mengukur waktu tanggap (latensi) dengan bantuan pemantauan melalui antarmuka serial.

### 3.3.2 Rancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada sistem ini dirancang untuk memungkinkan komunikasi dua arah antara pengguna dan mikrokontroler ESP32 melalui aplikasi Blynk yang berjalan di perangkat seluler. Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan memanfaatkan pustaka pendukung seperti BlynkSimpleEsp32.h, WiFi.h, dan ESP32Servo.h. Kombinasi pustaka tersebut

memungkinkan ESP32 terhubung ke jaringan WiFi dan mengendalikan motor servo secara real-time.

Logika utama program dirancang untuk menerima input dari pengguna melalui pin virtual di aplikasi Blynk, yang selanjutnya diterjemahkan menjadi perintah gerakan pada masing-masing servo. Setiap pin virtual (V0 hingga V3) dikaitkan dengan bagian-bagian lengan robot yang berbeda: wrist, arm, shoulder, dan grip. Setelah menerima perintah, mikrokontroler akan mengeksekusi pergerakan servo yang bersangkutan.

Untuk keperluan pengukuran latensi, program mencatat waktu sebelum dan sesudah proses perintah dilakukan. Namun, karena servo MG90S tidak memiliki umpan balik posisi untuk mengetahui kapan pergerakan benar-benar selesai, digunakan pendekatan estimatif berupa penambahan fungsi delay. Nilai ini diambil berdasarkan karakteristik umum dari waktu gerak servo MG90S dalam menyelesaikan satu siklus gerakan dari satu posisi ke posisi lain.

Data latensi dihitung sebagai selisih waktu dari saat perintah diterima hingga akhir penundaan, lalu dikirimkan ke antarmuka serial untuk dianalisis. Pendekatan ini dianggap cukup representatif untuk menggambarkan waktu respon sistem secara menyeluruh dalam keterbatasan sumber daya dan tanpa penggunaan sensor posisi tambahan.

Dengan rancangan perangkat lunak ini, sistem tidak hanya dapat menerima dan menjalankan instruksi kendali, tetapi juga mampu menyediakan data latensi

sebagai bahan evaluasi performa komunikasi dan reaksi aktuator terhadap perintah yang diberikan.

### 3.3.3 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem menggambarkan alur kerja dari keseluruhan sistem kendali lengan robot berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini. Diagram tersebut memvisualisasikan hubungan antara komponen utama serta mekanisme komunikasi data di dalam sistem.

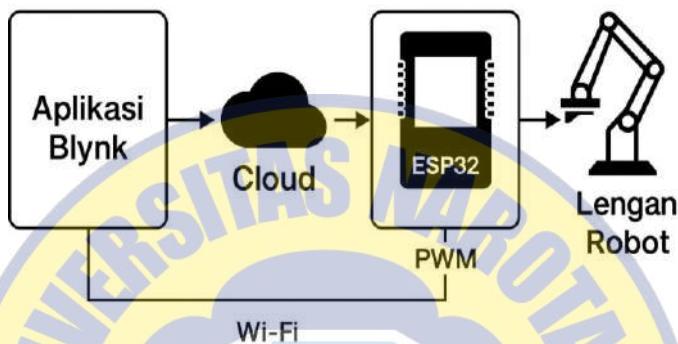
Sistem diawali dari pengguna yang memberikan perintah melalui aplikasi Blynk pada perangkat seluler. Perintah tersebut dikirimkan melalui jaringan WiFi menuju mikrokontroler ESP32, yang bertindak sebagai unit pusat pengolah data. Setiap perintah yang masuk ke ESP32 akan diterjemahkan menjadi sinyal kendali untuk menggerakkan salah satu dari empat servo motor MG90S yang terpasang pada bagian lengan robot, yaitu grip, wrist, arm, dan shoulder.

Setelah instruksi gerakan dikirim ke servo, sistem akan menunggu selama periode tertentu sebagai estimasi waktu penyelesaian gerakan. Penundaan ini digunakan sebagai pendekatan untuk merepresentasikan waktu gerak servo secara penuh karena tidak tersedianya sistem umpan balik posisi.

Selanjutnya, ESP32 mencatat waktu tanggap sistem sebagai data latensi, lalu menampilkannya melalui antarmuka Serial Monitor pada komputer. Data ini menjadi dasar evaluasi terhadap kecepatan respon dan kinerja komunikasi dalam sistem kendali yang dibangun. Secara keseluruhan, diagram blok sistem menunjukkan bagaimana proses kendali dimulai dari sisi pengguna, diproses oleh

mikrokontroler, direspon oleh aktuator, dan diakhiri dengan pengukuran waktu sebagai indikator performa sistem.

Berikut disajikan diagram blok sistem kendali yang menunjukkan hubungan antar komponen utama:



**Gambar 3.1 Diagram blok sistem kendali lengan robot berbasis ESP32 dan**

### 3.3.4 Desain Mekanik Lengan Robot

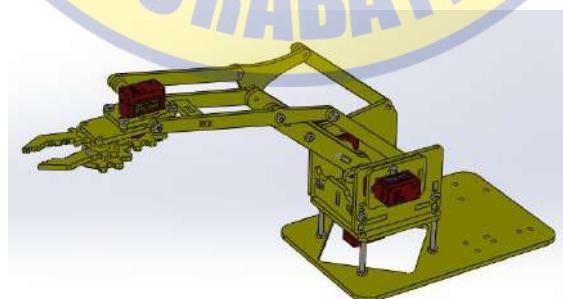
Desain mekanik merupakan aspek penting dalam mendukung stabilitas dan efektivitas pergerakan lengan robot. Struktur mekanis yang digunakan pada penelitian ini dirancang secara sederhana namun fungsional, menyesuaikan dengan keterbatasan dimensi, beban kerja, serta karakteristik aktuator yang digunakan.

Lengan robot terdiri dari empat segmen utama yang masing-masing dikendalikan oleh servo motor MG90S. Komponen-komponen tersebut mencakup bagian grip (pencapit), wrist (pergelangan), arm (lengan utama), dan shoulder (bahu). Masing-masing bagian dirangkai sedemikian rupa sehingga membentuk sistem artikulasi yang memungkinkan pergerakan fleksibel pada sumbu tertentu sesuai instruksi dari pengguna.

Material utama yang digunakan untuk rangka lengan robot adalah akrilik dengan ketebalan tertentu. Pemilihan bahan ini didasarkan pada pertimbangan bobot yang ringan, kemudahan pemotongan, serta kekuatan yang cukup untuk menahan torsi dari servo dalam skenario pengujian beban ringan. Setiap sambungan antar segmen dikencangkan menggunakan baut dan mur agar memberikan fleksibilitas sekaligus kekokohan struktur.

Desain mekanik ini juga memperhitungkan titik tumpu dan distribusi beban agar sistem tidak mengalami ketidakseimbangan selama proses penggerakan. Tata letak servo motor disesuaikan dengan arah gerak yang diinginkan, dengan tujuan mengoptimalkan efektivitas kendali dan memperkecil risiko gesekan atau hambatan mekanis. Dengan rancangan tersebut, lengan robot mampu merespons instruksi kendali secara presisi dan bergerak secara stabil, serta memberikan dasar fisik yang mendukung pengukuran latensi secara akurat selama proses eksperimen berlangsung.

Gambar berikut menunjukkan bentuk fisik dari lengan robot yang digunakan:



**Gambar 3.2 Lengan robot berbahan akrilik dengan empat motor servo**

**MG90S**

### **3.4 Teknik Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh informasi kuantitatif mengenai performa sistem kendali lengan robot, khususnya dalam hal latensi waktu respon antara perintah yang diberikan oleh pengguna dan gerakan servo motor yang dieksekusi oleh ESP32.

Metode pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap hasil yang ditampilkan pada Serial Monitor dari perangkat lunak Arduino IDE. Setiap kali pengguna mengirimkan perintah melalui aplikasi Blynk, sistem akan mencatat waktu mulai (saat perintah diterima oleh ESP32) dan waktu akhir (setelah estimasi gerakan servo dianggap selesai menggunakan fungsi delay. Selisih dari kedua waktu tersebut direkam sebagai nilai latensi dalam satuan milidetik (ms).

Proses ini diulang untuk setiap pin virtual yang mengendalikan masing-masing bagian lengan robot, yaitu V0 (wrist), V1 (arm), V2 (shoulder), dan V3 (grip). Pengujian dilakukan beberapa kali untuk setiap komponen agar diperoleh data yang konsisten dan dapat digunakan dalam proses analisis. Seluruh data yang telah diperoleh kemudian dicatat dalam tabel dan diolah lebih lanjut untuk mengetahui rata-rata latensi, standar deviasi, serta melihat pola waktu tanggap pada masing-masing aktuator. Teknik ini memungkinkan evaluasi performa dilakukan secara objektif dan terukur, tanpa ketergantungan pada persepsi subyektif pengguna.

### **3.5 Teknik Analisis Data**

Data yang telah dikumpulkan melalui antarmuka serial kemudian dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem kendali lengan robot dalam dua kondisi, yakni tanpa beban dan dengan beban. Pengujian dilakukan secara berulang pada masing-masing bagian lengan robot untuk memperoleh data latensi yang akurat dan konsisten dalam kedua skenario tersebut.

Pendekatan analisis dilakukan secara kuantitatif menggunakan metode statistik deskriptif. Mula-mula, nilai rata-rata (mean) latensi dihitung untuk masing-masing bagian servo pada kedua kondisi, dengan tujuan mengetahui kecepatan tanggap sistem secara umum. Selanjutnya dilakukan penghitungan standar deviasi guna mengukur ketebalan waktu respon selama proses pengujian. Selain itu, dicatat pula nilai latensi minimum dan maksimum untuk melihat sebaran data serta kemungkinan adanya lonjakan atau anomali respon.

Perbandingan hasil antara kondisi tanpa beban dan dengan beban dilakukan untuk menilai sejauh mana adanya pengaruh beban fisik terhadap performa sistem. Dengan kata lain, analisis ini tidak hanya mengukur efektivitas sistem secara teknis, tetapi juga mengevaluasi ketahanan dan konsistensi kendali dalam situasi operasional yang berbeda.

Interpretasi hasil dilakukan secara menyeluruh dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti fluktuasi jaringan WiFi, sudut gerakan servo, serta efisiensi logika pemrograman. Dengan analisis yang komprehensif ini, penelitian diharapkan

mampu memberikan gambaran utuh mengenai kinerja sistem kendali robotik dalam konteks implementasi nyata berbasis Internet of Things.

### 1. Rumus Menghitung Latensi

Pengukuran latensi dilakukan dengan mencatat waktu sebelum dan sesudah proses perintah servo.

$$\text{Latensi} = (\text{Takhir} - \text{Tawal}) + T\text{delay}$$

Keterangan:

- $T\text{awal}$ : waktu saat perintah mulai dijalankan (millis() saat sebelum `servo.write()`)
- $T\text{akhir}$ : waktu setelah `delay()` selesai
- $T\text{delay}$ : waktu penundaan estimasi gerakan servo

### 2. Rumus Rata-rata (Mean) Latensi

$$\text{Rata-rata} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n$$

Keterangan:

- $x_1 \dots x_n$  = masing-masing nilai latensi (ms)
- $n$  = jumlah data pengujian

### 3. Rumus Standar Deviasi (S)

$$\text{Standar Deviasi} = \sqrt{[(\sum(x - \bar{x})^2) / (n - 1)]}$$

Keterangan:

- $x$  = setiap nilai latensi
- $\bar{x}$  = rata-rata latensi
- $n$  = jumlah data

#### **4. Cara Penghitungan (Langkah-langkah)**

1. Lakukan 5–10 kali pengujian untuk setiap servo (baik tanpa beban maupun dengan beban).
2. Catat nilai latensi tiap kali perintah dijalankan, bisa dilihat di Serial Monitor.
3. Buat tabel seperti ini:

**Tabel 3.1 Penghitungan Latensi**

<b>Uji Ke</b>	<b>Wrist (ms)</b>	<b>Arm (ms)</b>	<b>Shoulder (ms)</b>	<b>Grip (ms)</b>
1.	504	510	503	508
2.	499	507	505	506
3.	500	400	211	111

4. Hitung rata-rata dan standar deviasi dari tiap kolom.
5. Lakukan langkah yang sama untuk kondisi dengan beban.

Bandingkan hasil keduanya, buat kesimpulan apakah latensinya berubah signifikan atau tidak.