

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian digunakan sebagai panduan sistematis dalam merancang, membangun, dan mengevaluasi robot *mobile* berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan pengendalian melalui Aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal dan komunikasi LoRa. Metode ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan pengguna dan bekerja secara efektif dalam kondisi nyata.

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development (R&D)*, yaitu metode penelitian yang berfokus pada proses pengembangan suatu produk. Produk yang dihasilkan berupa prototipe robot *mobile* berbasis ESP32 yang mengintegrasikan LoRa untuk komunikasi jarak jauh serta antarmuka suara untuk kendali nirkabel. Penelitian ini bersifat aplikatif dan praktis karena menekankan pada perancangan, pembuatan, dan pengujian fungsional sistem yang dapat langsung diimplementasikan.

Dalam proses pengembangan sistem, penelitian ini menggunakan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) sebagai kerangka kerja:

1. *Analysis* (Analisis) – Mengidentifikasi kebutuhan sistem robot, termasuk fungsi pergerakan, kendali suara, dan komunikasi nirkabel.

2. *Design* (Perancangan) – Membuat rancangan *hardware* dan *software*, termasuk diagram alur sistem, pemilihan mikrokontroler ESP32, Modul LoRa, Motor DC, Modul Stepdown, Modul L298N, Menghubungkan Aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal .
3. *Development* (Pengembangan) – Merakit prototipe robot, menulis kode pemrograman untuk ESP32, pengenalan suara, kendali motor melalui L298N, dan komunikasi data melalui LoRa.
4. *Implementation* (Implementasi) – Menguji robot secara langsung untuk menilai respons terhadap perintah suara, navigasi melalui *differential drive*, serta stabilitas komunikasi LoRa.
5. *Evaluation* (Evaluasi) – Menganalisis performa sistem, termasuk akurasi perintah suara, efektivitas kontrol motor, jangkauan dan keandalan komunikasi LoRa, serta integrasi keseluruhan sistem.

Metode ini dipilih karena memberikan pendekatan terstruktur dan sistematis, sehingga memudahkan peneliti dalam mengembangkan robot IoT yang kompleks sekaligus memastikan setiap modul berfungsi sesuai tujuan penelitian.

3.1.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif. Pendekatan ini diterapkan untuk mendeskripsikan secara sistematis proses pengembangan robot *mobile* berbasis *Internet of Things (IoT)*, mulai dari tahap analisis

kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan prototipe, implementasi, hingga evaluasi kinerja robot yang telah dibuat.

Data penelitian diperoleh melalui observasi langsung terhadap performa robot dalam mengeksekusi perintah suara, navigasi menggunakan *differential drive*, serta komunikasi nirkabel melalui LoRa. Pengujian dilakukan secara fungsional untuk mengetahui:

1. Kemampuan robot dalam merespons perintah suara melalui Aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal
2. Keandalan komunikasi LoRa, termasuk jangkauan dan kestabilan pengiriman data antara robot dan stasiun kontrol.
3. Kinerja sistem pengendalian motor melalui modul L298N dalam menjalankan pergerakan maju, berbelok, berputar dan berhenti di tempat sesuai rancangan.

Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk menilai efektivitas integrasi modul IoT, mikrokontroler ESP32, LoRa, dan antarmuka suara secara menyeluruh, sehingga setiap tahap pengembangan dapat dianalisis dan dievaluasi secara empiris.

3.1.2 Tahapan Penelitian (ADDIE)

Pendekatan Tahapan penelitian dalam pengembangan sistem robot ini disusun berdasarkan model ADDIE, yang terdiri dari lima tahap, yaitu *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*.

1. *Analysis* (Analisis)

Tahap analisis bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan dan kebutuhan sistem robot. Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan *Internet of Things (IoT)*, teknologi komunikasi LoRa, mikrokontroler ESP32, modul *motor driver* L298N, serta penggunaan Aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal sebagai media kendali. Selain itu, dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, serta penentuan skenario pergerakan dan pengendalian robot secara nirkabel.

2. *Design* (Perancangan)

Tahap perancangan dilakukan sebagai dasar dalam pengembangan sistem. Pada tahap ini disusun diagram blok sistem untuk menggambarkan hubungan antar komponen, *flowchart* sistem untuk menjelaskan alur kerja robot, perancangan hardware seperti susunan motor, dan sistem komunikasi, serta perancangan *software* berupa pemrograman ESP32, algoritma perintah suara, dan integrasi LoRa sebagai acuan dalam proses pembuatan sistem.

3. *Development* (Pengembangan)

Tahap pengembangan merupakan realisasi dari rancangan yang telah dibuat. Pada tahap ini dilakukan perakitan *prototype* robot sesuai desain, pemrograman ESP32 untuk pengendalian motor, pengembangan komunikasi data menggunakan teknologi LoRa, serta implementasi Aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal sehingga robot dapat menerima dan mengeksekusi perintah suara dari pengguna.

4. *Implementation* (implementasi)

Tahap implementasi dilakukan dengan menjalankan robot sesuai skenario penggunaan yang telah ditentukan. Pada tahap ini dilakukan pengujian fungsional yang meliputi pengujian pergerakan robot (maju, berbelok, berputar di tempat dan berhenti), pengujian komunikasi LoRa untuk mentransfer perintah dan data status robot, serta pengujian respons robot terhadap perintah suara.

5. *Evaluation* (Evaluasi)

Tahap evaluasi bertujuan untuk menilai kinerja dan fungsionalitas sistem robot yang telah dikembangkan. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis hasil pengujian fungsional, mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan sistem, serta menilai kesesuaian robot dengan kebutuhan pengguna, termasuk efektivitas integrasi antara ESP32, LoRa, *motor driver*, dan Aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal.

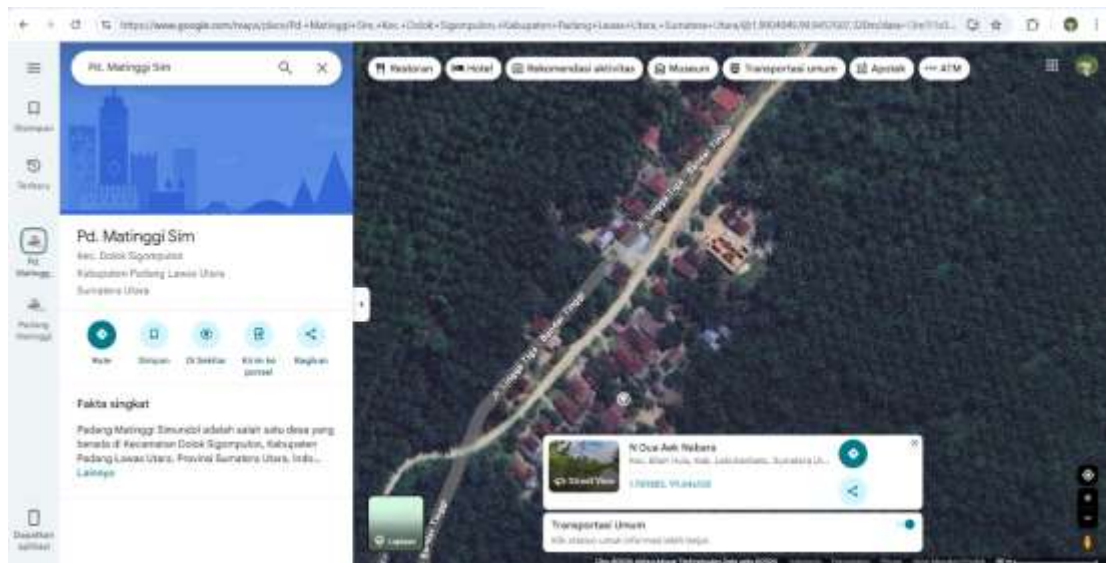


Gambar 3.1 ADDIE

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lingkungan rumah peneliti yang berlokasi di Desa Padang Matinggi Sim, Kecamatan Dolok Sigompulon, Kabupaten Padang Lawas Utara. Lokasi ini digunakan sebagai tempat implementasi dan pengujian prototipe

robot mobile berbasis *Internet of Things (IoT)*. Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada ketersediaan jaringan listrik yang stabil serta kondisi lingkungan yang mendukung pengujian pergerakan robot dan komunikasi nirkabel menggunakan LoRa, Prsehingga proses pengoperasian dan pengujian sistem dapat dilakukan dengan baik.



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan selama lima bulan, yaitu mulai November 2025 hingga Maret 2026. Waktu penelitian tersebut mencakup tahapan studi literatur, analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan dan implementasi prototipe robot, pengujian fungsional, serta analisis dan evaluasi hasil penelitian, termasuk pengujian kinerja perintah suara, navigasi robot, dan komunikasi LoRa.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Tahap Penelitian	Bulan				
		November 2025	Desember 2025	Januari 2026	Februari 2026	Maret 2026

1	Studi Literatur (IoT, ESP32, LoRa, Robotika, Aplikasi Serial <i>Bluetooth</i> Terminal)					
2	Analisis Kebutuhan Sistem Robot IoT					
3	Perancangan Sistem (Diagram Blok, <i>Flowchart</i> , <i>Hardware & Software</i>)					
4	Pengembangan Sistem (<i>Hardware & Software</i>)					
5	Implementasi Sistem Robot IoT					
6	Pengujian Fungsional Sistem (<i>Motor</i> ; Aplikasi Serial <i>Bluetooth</i> Terminal, <i>LoRa</i>)					
7	Analisis dan Evaluasi Hasil Penelitian					

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat penelitian merupakan sarana pendukung yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya pada tahap perancangan, pengembangan, dan pengujian sistem berdasarkan konsep dan teknologi yang telah dibahas pada Bab II. Alat-alat ini berfungsi untuk mendukung proses analisis sistem berbasis *Internet of*

Things (IoT), implementasi komunikasi menggunakan teknologi LoRa, pemrograman mikrokontroler ESP32, serta pengujian kinerja sistem kendali yang dirancang.

Penggunaan alat penelitian disesuaikan dengan kebutuhan sistem sebagaimana dijelaskan dalam kajian teori pada Bab II, sehingga setiap perangkat yang digunakan memiliki keterkaitan langsung dengan konsep IoT, arsitektur sistem komunikasi nirkabel, dan mekanisme pengendalian perangkat secara jarak jauh. Daftar alat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Alat Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah	Fungsi
1	Laptop	1 Unit	Digunakan untuk pemrograman mikrokontroler ESP32, perancangan sistem IoT, serta analisis dan pengujian sistem
2	Obeng	1 Set	Digunakan dalam proses perakitan dan pemasangan perangkat keras sistem
3	Kabel <i>Jumper</i>	Secukupnya	Menghubungkan komponen elektronik sesuai dengan rancangan sistem
4	<i>Software Arduino IDE</i>	1 Paket	Digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32
5	<i>Breadboard</i>	1 Unit (Opsional)	Media perakitan sementara komponen elektronik selama tahap pengujian sistem
6	<i>Smartphone</i>	1 Unit	Digunakan untuk mengirim perintah untuk program robot dengan Aplikasi Serial <i>Bluetooth</i> Terminal

Bahan penelitian merupakan komponen utama yang digunakan dalam proses perancangan dan implementasi sistem robot berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan kendali nirkabel menggunakan teknologi LoRa dan pengenalan suara. Bahan-bahan ini berfungsi sebagai penyusun sistem, baik pada sisi pengendalian, komunikasi, maupun penyediaan sumber daya listrik. Daftar bahan penelitian yang digunakan disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Bahan Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah	Fungsi
1	ESP32	2 Unit	Mengendalikan sensor, aktuator, komunikasi data IoT, dan pengolahan perintah suara
2	Modul LoRa SX1278	2 Unit	Komunikasi jarak jauh antar perangkat IoT
3	Kabel <i>Jumper</i>	Secukupnya	Menghubungkan mikrokontroler, sensor, dan modul
5	<i>Breadboard</i>	1 Unit (Opsional)	Memfasilitasi pemasangan rangkaian sementara
6	L298N <i>Dual H Bridge</i>	1 Unit	Mengendalikan motor robot
7	DC <i>Step Down</i> LM2596		Menyediakan tegangan stabil untuk mikrokontroler & modul
8	Baterai <i>Lithium Ion</i> 18650	2 Unit	Menyediakan sumber daya portabel untuk sistem
9	<i>Smart Chassis 2WD</i>	1 Paket	Platform fisik robot untuk implementasi IoT & kendali
10	Aplikasi Serial <i>Bluetooth</i> Terminal	Aplikasi	Digunakan untuk mengirim perintah untuk program robot dengan Aplikasi Serial <i>Bluetooth</i> Terminal
11	<i>Action Camera 4K Sports</i>	1 Unit	Action camera berfungsi sebagai 'mata' robot untuk memantau area secara langsung dan merekam video berkualitas tinggi secara nirkabel

ESP32, modul LoRa, *stepdown* dan *driver motor* digunakan sebagai komponen utama dalam sistem robot berbasis IoT. Penggunaan komponen-komponen ini bertujuan untuk memastikan robot dapat melakukan kendali nirkabel, dan eksekusi perintah suara secara *real-time*.

Namun demikian, beberapa komponen pendukung seperti, *breadboard*, kabel *jumper*, dan baterai tidak menjadi fokus utama penelitian, sehingga penelitian ini tidak membahas secara mendalam mengenai desain rangkaian elektronik, optimasi daya, atau karakteristik performa masing-masing modul. Fokus penelitian tetap pada implementasi kendali robot berbasis IoT melalui LoRa dan perintah suara, serta integrasi komponen-komponen utama untuk mendukung fungsionalitas sistem.

3.4 Diagram Blok / Arsitektur Sistem

Diagram blok sistem digunakan untuk menggambarkan arsitektur umum serta hubungan antar komponen dalam sistem robot berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan kendali suara dan komunikasi LoRa. Diagram ini memperlihatkan alur kerja dan interaksi antar modul mulai dari *input* pengguna hingga eksekusi perintah pada robot.

Pada sistem ini, pengguna memberikan perintah melalui input suara yang diterima oleh Aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal. Sinyal audio dikirim ke mikrokontroler ESP32 pada sisi pengirim, yang kemudian memproses perintah suara dan mengubahnya menjadi perintah digital. Perintah digital ini dikirimkan melalui komunikasi nirkabel LoRa menuju mikrokontroler ESP32 pada sisi penerima. ESP32

penerima memproses perintah tersebut dan mengendalikan aktuator, seperti *motor DC/stepper* dan perangkat tambahan, sesuai perintah suara yang diterima.

Sistem robot ini juga didukung oleh sumber daya listrik dari baterai *lithium ion* 18650 sebagai catu daya utama, sehingga robot dapat beroperasi secara portabel tanpa tergantung pada jaringan listrik eksternal. Diagram blok sistem ini digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan, pengembangan, dan implementasi sistem robot berbasis IoT–LoRa dengan kendali suara, serta mempermudah pemahaman alur kerja sistem secara keseluruhan.

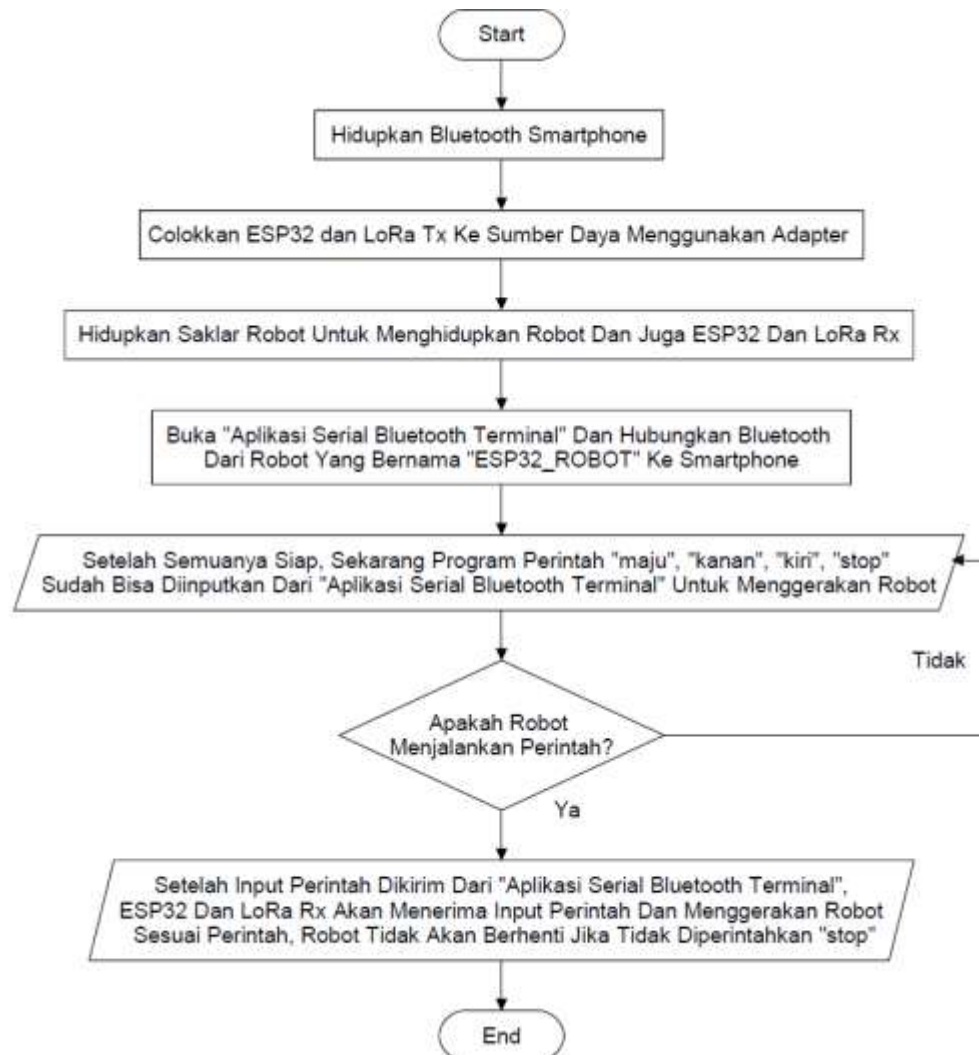


Gambar 3.3 Sistem Robot IoT dengan Kendali Suara

3.5 Flowchart Sistem

Flowchart sistem menggambarkan alur kerja robot berbasis IoT secara sederhana, mulai dari sistem diaktifkan hingga robot menjalankan perintah dari pengguna melalui aplikasi *Serial Bluetooth Terminal*. Diagram ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan logika program pada *mikrokontroler* ESP32 agar proses

pengiriman, penerimaan, dan eksekusi perintah dapat berjalan secara sistematis dan terstruktur.



Gambar 3.4 Flowchart Sistem

Alur sistem dimulai dari *Start*, yaitu saat pengguna mulai mengoperasikan sistem. Langkah pertama adalah menghidupkan *Bluetooth* pada *smartphone* sebagai media komunikasi awal. Selanjutnya, ESP32 dan modul LoRa pada sisi *transmitter*

(Tx) dihubungkan ke sumber daya menggunakan adaptor agar sistem pengirim dapat aktif.

Setelah itu, pengguna menghidupkan saklar robot untuk menyalakan sistem pada sisi *receiver* (Rx), termasuk ESP32, modul LoRa, *driver motor*, dan komponen pendukung lainnya yang menggunakan sumber daya baterai.

Kemudian, pengguna membuka aplikasi *Serial Bluetooth Terminal* dan menghubungkan *smartphone* dengan perangkat *Bluetooth* robot yang bernama "ESP32_ROBOT". Setelah koneksi berhasil, sistem siap menerima perintah dari pengguna.

Selanjutnya masuk ke tahap *Input Perintah*, yaitu pengguna mengirimkan perintah seperti "maju", "kanan", "kiri", dan "stop" melalui aplikasi *Serial Bluetooth Terminal*. Perintah tersebut akan dikirim dari ESP32 *transmitter* melalui komunikasi LoRa secara *wireless* menuju ESP32 *receiver*.

Berikutnya adalah tahap *Decision* (Apakah Robot Menjalankan Perintah?), yaitu sistem memeriksa apakah perintah telah diterima dengan baik oleh ESP32 *receiver*:

1. Jika Tidak, maka sistem kembali ke tahap input perintah dan menunggu perintah yang valid dari pengguna.
2. Jika Ya, maka sistem melanjutkan ke tahap eksekusi perintah.

Pada tahap Jalankan Perintah, ESP32 *receiver* memproses data yang diterima dari LoRa dan mengontrol motor melalui *driver motor* sesuai dengan perintah yang

diberikan. Robot akan terus bergerak sesuai perintah yang diterima dan tidak akan berhenti sebelum menerima perintah "stop".

Setelah perintah dijalankan, alur mencapai tahap *End*, yang menunjukkan bahwa satu siklus perintah telah selesai diproses. Namun, dalam implementasi sebenarnya, sistem berjalan secara terus-menerus (*looping*), sehingga robot dapat menerima dan menjalankan perintah berikutnya selama sistem masih aktif.

Adapun penjelasan tiap bagian *flowchart* adalah sebagai berikut:

1. *Start*

Sistem mulai dijalankan oleh pengguna.

2. Inisialisasi Sistem

Menghidupkan *Bluetooth smartphone*

Menghubungkan ESP32 & LoRa Tx ke adaptor

Menghidupkan robot (ESP32 & LoRa Rx) Perintah Diterima? (*Decision*)

3. Koneksi *Bluetooth*

Smartphone terhubung dengan perangkat "ESP32_ROBOT" melalui aplikasi Serial *Bluetooth Terminal*.

4. Input Perintah

Pengguna memasukkan perintah seperti *maju*, *kanan*, *kiri*, dan *stop* melalui aplikasi.

5. Perintah Diterima? (*Decision*)

Sistem memeriksa apakah perintah berhasil diterima ESP32 *receiver*.

a. Ya → Lanjut ke proses menjalankan perintah.

b. Tidak → Kembali ke tahap *input* perintah.

6. Jalankan Perintah

ESP32 mengendalikan motor sesuai perintah yang diterima melalui komunikasi

LoRa.

7. *End*

Satu siklus perintah selesai, namun sistem tetap berjalan dan siap menerima perintah berikutnya.

3.6 Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan tahapan untuk merancang keseluruhan sistem yang akan dikembangkan dengan baik.

Perancangan ini bertujuan sebagai acuan dalam proses pembuatan dan implementasi sistem robot berbasis *Internet of Things (IoT)* yang memanfaatkan *mikrokontroler* ESP32, teknologi komunikasi LoRa, serta aplikasi *Serial Bluetooth Terminal* sebagai media interaksi antara pengguna dan sistem.

3.6.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras dilakukan untuk menentukan komponen utama yang digunakan serta hubungan antar komponen dalam sistem robot berbasis IoT

dengan komunikasi LoRa dan kendali melalui *Bluetooth*. Tahapan perancangan perangkat keras meliputi:

1. Menentukan komponen utama sistem, yang terdiri dari:
 1. Mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali
 2. Modul komunikasi LoRa SX1278 sebagai media pengiriman data jarak jauh
 3. Modul *Bluetooth* (HC-05 / *Bluetooth* ESP32) sebagai media komunikasi dengan *smartphone*
 4. *Driver* motor L298N sebagai pengendali motor
 5. Motor DC sebagai *aktuator* penggerak robot
 6. Modul *step-down* (LM2596) sebagai penstabil tegangan
 7. Baterai lithium-ion 18650 sebagai sumber daya
2. Merancang diagram blok dan rangkaian sistem, yang digunakan sebagai acuan dalam menghubungkan seluruh komponen agar dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan arsitektur sistem komunikasi *Bluetooth*–LoRa.
3. Melakukan perakitan awal perangkat keras, menggunakan *breadboard* dan kabel *jumper* untuk pengujian awal sebelum dipasang secara permanen pada *chassis* robot

3.6.2 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perancangan perangkat lunak dilakukan untuk mengatur alur kerja sistem dalam menerima perintah dari aplikasi, mengirim data melalui LoRa, serta mengendalikan robot. Tahapan perancangan perangkat lunak meliputi:

1. Membuat program pada ESP32 (*Transmitter*) untuk:
 1. Menghubungkan *Bluetooth* dengan *smartphone*
 2. Menerima input perintah dari aplikasi *Serial Bluetooth Terminal*
 3. Mengirim data perintah ke ESP32 receiver melalui LoRa
2. Mengimplementasikan komunikasi LoRa, antara:
 1. ESP32 + LoRa Tx sebagai pengirim data
 2. ESP32 + LoRa Rx sebagai penerima data
3. Membuat program pada ESP32 (*Receiver*) untuk:
 1. Menerima data dari LoRa Menerima *input* perintah dari aplikasi *Serial Bluetooth Terminal*
 2. Memproses perintah seperti maju, mundur, kiri, kanan, dan stop
 3. Mengendalikan motor melalui *driver* L298N

Sistem pengendalian robot diimplementasikan menggunakan pemrograman pada mikrokontroler ESP32. Program dirancang untuk menerima data dari komunikasi Bluetooth, kemudian mengirimkan data melalui LoRa, serta mengendalikan motor menggunakan driver L298N.

Berikut merupakan contoh potongan program untuk pergerakan robot:

```

void maju() {
    digitalWrite(IN1, HIGH);
    digitalWrite(IN2, LOW);
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW); }

```

Fungsi `maju()` digunakan untuk menggerakkan robot ke arah depan dengan mengatur logika HIGH dan LOW pada pin driver motor L298N sehingga kedua motor berputar searah.

3.6.3 Tahap Implementasi Sistem

Tahap implementasi sistem merupakan tahapan penerapan hasil perancangan ke dalam sistem nyata. Tahapan implementasi meliputi:

1. Mengunggah program ke ESP32 menggunakan Arduino IDE sesuai *flowchart* sistem.
2. Merakit seluruh komponen pada *chassis* robot, termasuk motor, *driver* motor, LoRa, dan sumber daya.
3. Melakukan pengujian komunikasi:
 1. *Bluetooth* antara *smartphone* dan ESP32 *transmitter*
 2. LoRa antara ESP32 *transmitter* dan *receiver*
4. Menguji sistem kendali robot menggunakan aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal dengan perintah seperti maju, kanan, kiri, dan stop.

3.6.4 Skema Rangkaian Sistem

Skema rangkaian sistem menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem robot berbasis IoT dengan komunikasi *Bluetooth* dan LoRa. Skema ini menjadi acuan dalam proses perakitan dan pengujian sistem.

Secara umum, sistem terdiri dari empat bagian utama, yaitu:.

1. Rangkaian *Input*

Rangkaian *input* menggunakan *smartphone* Android yang menjalankan *aplikasi Serial Bluetooth Terminal*. Perintah dari pengguna seperti maju, kanan, kiri, dan stop dikirim melalui *Bluetooth* ke *ESP32 transmitter* dalam bentuk data serial.

2. Rangkaian Pemrosesan dan Komunikasi

Bagian ini menggunakan dua *mikrokontroler ESP32*:

1. *ESP32 Transmitter (Tx)* → menerima data dari *Bluetooth* dan mengirimkannya melalui LoRa
2. *ESP32 Receiver (Rx)* → menerima data dari LoRa

Komunikasi LoRa menggunakan antarmuka SPI (MOSI, MISO, SCK, NSS).

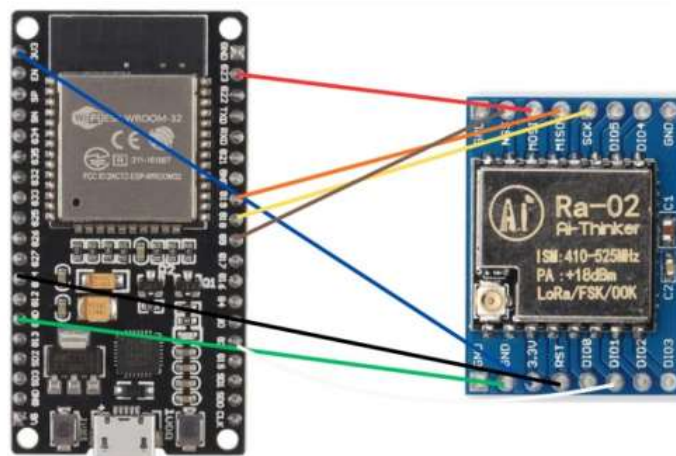
3. Rangkaian *Output* dan Aktuator

Rangkaian *output* terdiri dari *driver* motor:

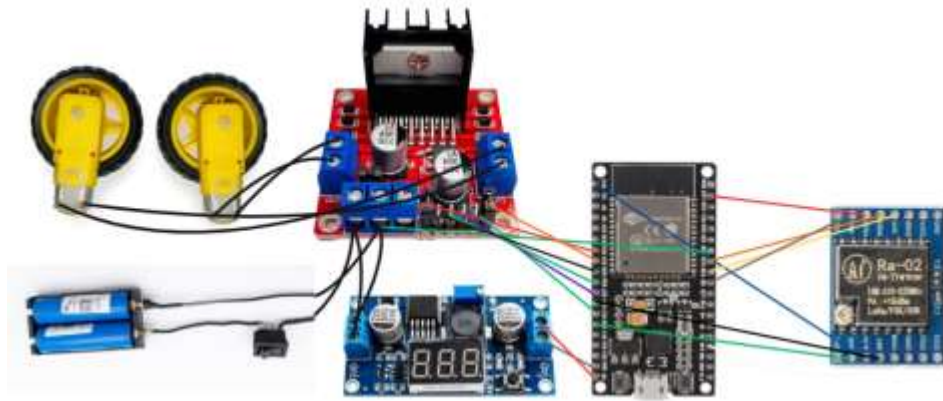
1. *Driver* motor L298N
2. Motor DC sebagai penggerak robot

ESP32 *receiver* mengontrol arah dan pergerakan robot berdasarkan perintah yang diterima, seperti:

1. Maju
 2. Kanan
 3. Kiri
 4. Stop
4. Rangkaian Catu Daya
1. Catu daya untuk ESP32 dan LoRa
 2. Catu daya untuk motor melalui driver L298N



Gambar 3.5 Skema Rangkaian Pengirim



Gambar 3.6 Skema Rangkaian Penerima

3.7 Tahap Pengujian Sistem

Tahap pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem robot berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan komunikasi LoRa dan kendali melalui aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal dapat berfungsi sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Pengujian difokuskan pada pengujian fungsional sistem, komunikasi antar perangkat, serta kinerja sistem secara keseluruhan.

1. Uji Kendali Robot dan Aktuator

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa robot dan aktuator (motor DC) dapat bergerak sesuai dengan perintah yang diberikan oleh pengguna melalui aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal. Sistem diuji untuk melihat kesesuaian antara perintah seperti maju, mundur, kiri, kanan, dan stop dengan respon gerakan robot.

2. Uji Kendali Suara

1. Memastikan perintah dari pengguna dapat dikirim melalui aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal dan diterima oleh ESP32 *transmitter* dengan baik.

2. Memastikan data perintah yang dikirim melalui *Bluetooth* dapat diproses oleh ESP32 dan diteruskan ke komunikasi LoRa.

3. Uji Komunikasi LoRa

Pengujian komunikasi LoRa dilakukan untuk memastikan pertukaran data antara perangkat pengirim (ESP32 + LoRa Tx) dan perangkat penerima (ESP32 + LoRa Rx) dapat berjalan dengan baik. Pengujian ini mencakup jarak komunikasi dan kondisi lingkungan untuk mengetahui keandalan pengiriman data.

4. Uji Waktu Respon Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui waktu respon sistem terhadap perintah pengguna, mulai dari perintah dikirim melalui aplikasi, diterima oleh ESP32 *transmitter*, dikirim melalui LoRa, hingga robot memberikan respon sesuai perintah.

5. Uji Keandalan Sistem

Pengujian keandalan dilakukan dengan menjalankan sistem secara berulang dalam durasi tertentu untuk memastikan sistem robot dapat beroperasi secara stabil, konsisten, dan tidak mengalami gangguan selama digunakan.

3.8 Analisis dan Evaluasi Sistem

Analisis dan evaluasi sistem dilakukan untuk menilai kinerja sistem robot berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan komunikasi LoRa dan kendali melalui aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sistem yang dikembangkan mampu memenuhi tujuan dan spesifikasi yang telah dirancang.

Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian fungsional sistem terhadap skenario pengujian yang telah ditetapkan sebelumnya. Parameter yang dianalisis meliputi keberhasilan sistem dalam menerima perintah dari aplikasi, keandalan komunikasi *Bluetooth* antara *smartphone* dan ESP32 *transmitter*, keandalan komunikasi LoRa antara ESP32 *transmitter* dan *receiver*, waktu respon sistem terhadap perintah, serta kestabilan sistem robot selama proses pengujian berlangsung.

Evaluasi sistem difokuskan pada identifikasi kelebihan dan keterbatasan sistem yang dikembangkan. Kelebihan sistem dievaluasi berdasarkan kemudahan penggunaan melalui aplikasi Serial *Bluetooth* Terminal, kemampuan pengendalian robot secara jarak jauh, serta efektivitas komunikasi data menggunakan teknologi LoRa pada berbagai kondisi lingkungan..

Sementara itu, keterbatasan sistem dievaluasi berdasarkan kendala yang ditemukan selama pengujian, seperti keterlambatan respon akibat komunikasi nirkabel, pengaruh jarak dan interferensi terhadap kualitas komunikasi LoRa, serta keterbatasan sumber daya perangkat keras yang digunakan.

Hasil analisis dan evaluasi ini digunakan sebagai dasar dalam pembahasan hasil penelitian pada bab selanjutnya serta sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem robot berbasis IoT di masa mendatang.