

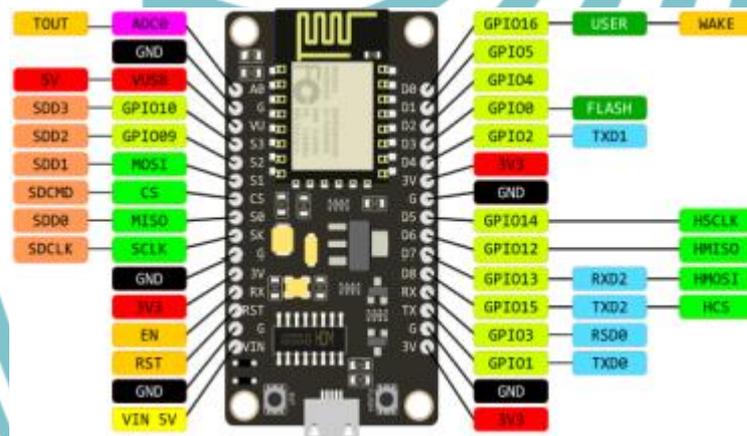
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ESP32

ESP32 merupakan penerus dari ESP8266 yang memberikan beberapa perbaikan di semua lini. Tidak hanya memiliki dukungan konektivitas WiFi, namun juga Bluetooth Low Energy yang membuat ESP32 menjadi lebih serbaguna. CPU yang dimiliki ESP32 hampir mirip dengan yang dimiliki ESP8266 yaitu Xtensa LX6 dengan arsitektur 32-bit, namun kelebihan pada ESP32 memiliki inti ganda. Tidak hanya itu, ESP32 memiliki ROM 128KB dan SRAM 416K, juga Flash Memory (untuk Menyimpan program dan data) sebesar 64MB. Di bawah ini Gambar 2.1 yang merupakan blok diagram dari ESP32 secara keseluruhan (Prafanto dkk, 2019).



Gambar 2. 1 Pin pada ESP32
Sumber : Prafanto et al. (2019)

2.2 Arduino IDE

Arduino IDE adalah software yang digunakan untuk membuat sketch pemrograman atau dengan kata lain arduino IDE sebagai media untuk pemrograman pada board yang ingin diprogram. Arduino IDE ini berguna untuk mengedit, membuat, meng-upload ke board yang ditentukan, dan meng-coding program tertentu. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA, yang dilengkapi dengan library C/C++(wiring), yang membuat operasi input/output lebih mudah (Kamal, dkk, 2023).



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat *sketch* pemrograman atau dengan kata lain arduino IDE sebagai media untuk pemrograman pada board yang ingin diprogram. Arduino IDE ini berguna untuk mengedit, membuat, mengunggah ke *board* yang ditentukan, dan membuat kode program tertentu. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA, yang dilengkapi dengan *library* C/C++(*wiring*), yang membuat operasi *input/output* lebih mudah (Kamal, dkk, 2023).

Arduino IDE adalah program *editor* yang menggunakan matriks/sintax untuk mendefinisikan alur kerja dan menerjemahkan bahasa yang dapat dimengerti manusia ke bahasa pemrograman mikrokontroler ESP 32, sintaks/matriks tersebut antara lain:

a. *Library*

Library adalah sekumpulan kode yang telah dibuat sebelumnya yang dapat digunakan kembali untuk mempermudah pengembangan program. Pemanggilan *library* menggunakan sintax `#include <nama.h>`

b. Definisi Pin dan Konstant

Penggunaan pin dan konstanta secara efisien tidak hanya meningkatnya keterbacaan dan pengelolaan kode, tetapi juga membantu dalam menjaga stabilitas dan keandalan program Arduino.

c. *Void Setup*

Void setup adalah bagian dari program Arduino yang berisi kode yang dieksekusi hanya sekali saat papan Arduino dinyalakan atau di-reset.

d. *Void loop*

Void loop adalah bagian dari program Arduino yang berisi kode yang akan dieksekusi berulang-ulang tanpa henti setelah fungsi *setup* selesai dijalankan.

e. *If* Dan *While*

digunakan untuk pengambilan keputusan dan pengulangan program secara selektif. Pernyataan *if* digunakan untuk menjalankan blok kode tertentu jika suatu kondisi bernilai benar (*true*), sedangkan *while* digunakan untuk melakukan perulangan selama kondisi yang diberikan tetap bernilai benar. Keduanya sangat penting dalam pengembangan logika program berbasis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mikrokontroler, seperti menjalankan aksi saat sensor mendeteksi suatu nilai tertentu (*if*), atau mengulang pembacaan sensor hingga memenuhi syarat tertentu (*while*).

f. *Boolean* (bool)

bool (singkatan dari *boolean*) digunakan untuk menyimpan nilai logika, yaitu hanya dua kemungkinan: true (benar) atau false (salah). Tipe data ini sangat berguna untuk pengambilan keputusan dan kontrol alur program, terutama dalam struktur seperti *if*, *while*, dan *for*.

g. *Int*

int adalah tipe data yang digunakan untuk menyimpan bilangan bulat (tanpa angka desimal), baik positif maupun negatif, dengan rentang nilai dari -32.768 hingga 32.767

h. *Void*

void adalah tipe yang digunakan untuk menyatakan bahwa suatu fungsi tidak mengembalikan nilai apa pun setelah dijalankan, Penggunaan *void* penting untuk membedakan fungsi yang hanya menjalankan perintah dengan fungsi yang menghasilkan nilai, sehingga struktur program menjadi lebih jelas dan terorganisir.

i. *Float*

Dalam Arduino IDE, *float* adalah tipe data yang digunakan untuk menyimpan bilangan desimal atau pecahan, yaitu angka yang memiliki bagian setelah koma, seperti 3.14 atau -0.75. Tipe data ini cocok digunakan ketika diperlukan tingkat presisi lebih tinggi dalam perhitungan, seperti membaca suhu dari sensor, nilai tegangan analog, atau hasil kalkulasi matematika yang tidak selalu bulat.

2.3 Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Pada dasarnya prinsip kerja buzzer hampir sama dengan loud speaker, jadi buzzer juga terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma dan kemudian kumparan tersebut dialiri arus sehingga menjadi electromagnet. Kumparan tadi akan tertarik ke dalam atau keluar, tergantung dari



arah arus dan polaritas magnetnya. Karena kumparan dipasang pada diafragma maka setiap gerakan kumparan akan menggerakkan diafragma secara bolak-balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara. Buzzer biasa digunakan sebagai indikator bahwa proses telah selesai atau terjadi suatu kesalahan pada sebuah alat (Wiraditama, dkk, 2023)



Gambar 2. 2 Bentuk buzzer
Sumber : Wiraditama et al. (2023)

2.4 Sensor Ultrasonik

Menurut Arasada Sensor ultrasonik adalah sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dan digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek atau benda tertentu didepan frekuensi kerja pada daerah diatas gelombang suara dari 20 kHz hingga 2 MHz. Sensor ultrasonik terdiri dari dari dua unit, yaitu unit pemancar dan unit penerima struktur unit pemancar dan penerima. Sangatlah sederhana sebuah kristal piezoelectric dihubungkan dengan mekanik jangkar dan hanya dihubungkan dengan diafragma penggetar tegangan bolak-balik yang memiliki frekuensi kerja 20 kHz hingga 2 MHz. Struktur atom dari Kristal piezoelectric menyebabkan berkontraksi mengembang atau menyusut, sebuah polaritas tegangan yang diberikan dan ini disebut dengan efek piezoelectric pada sensor ultrasonik. Pantulan gelombang ultrasonik terjadi bila ada objek tertentu dan pantulan gelombang ultrasonik akan diterima kembali oleh unit sensor penerima. Selanjutnya unit sensor penerima akan menyebabkan diafragma penggetar akan bergetar dan efek piezoelectric menghasilkan sebuah tegangan bolak-balik dengan frekuensi yang sama. Untuk lebih jelas tentang prinsip kerja dari sensor ultrasonik dapat dilihat prinsip dari sensor ultrasonik pada Gambar 2.3.

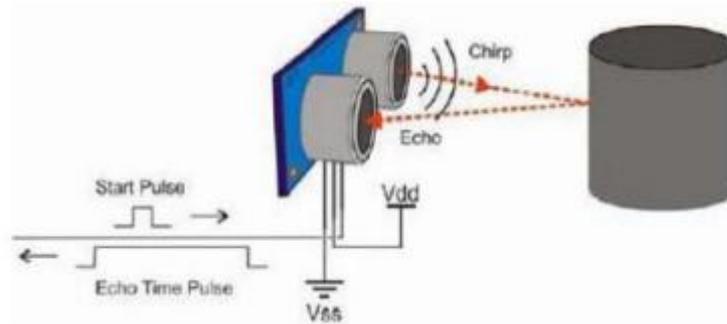
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



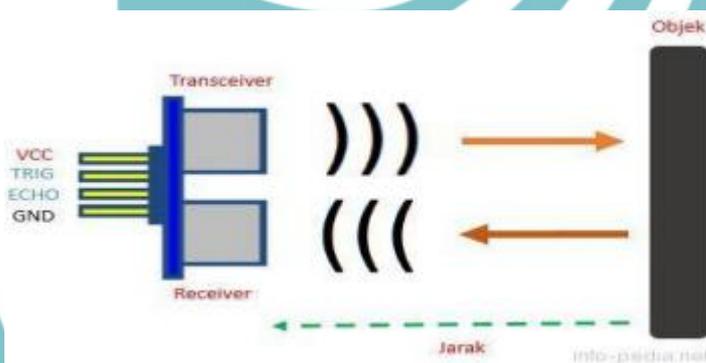
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2. 3 Prinsip Ultrasonik
Sumber: Arasada & Suprianto (2017)

Besar amplitudo sebuah sinyal elektrik yang dihasilkan sensor penerima tergantung dari jauh dekatnya sebuah objek yang akan dideteksi serta kualitas dari sensor pemancar dan sensor penerima. Proses sensing yang dilakukan pada sensor ini menggunakan metode pantulan untuk menghitung jarak antara sensor dengan objek sasaran. Prinsip pemantulan dari sensor ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Prinsip Pemantulan Ultrasonik
Sumber: Arasada & Suprianto (2017)

2.4.1 Sensor HC-SR04 dan Prinsip Kerja HC-SR04

Menurut Arasada, Prinsip kerja sensor ini adalah transmitter mengirimkan sebuah gelombang ultrasonik lalu diukur dengan waktu yang dibutuhkan hingga datangnya pantulan dari objek. Lamanya waktu ini sebanding dengan dua kali jarak sensor dengan objek, sehingga jarak sensor dengan objek dapat ditentukan persamaan berikut :

$$S = \frac{vt}{2} \quad (1)$$

Keterangan:

s = jarak (meter)

v = kecepatan suara (344 m/detik)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

t = waktu tempuh (detik)

HC-SR04 dapat mengukur jarak dalam rentang antara 3cm–3m dengan output panjang pulsa yang sebanding dengan jarak objek. Sensor ini hanya memerlukan 2 pin I/O untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler, yaitu TRIGGER dan ECHO. Untuk mengaktifkan HC-SR04 mikrokontroler mengirimkan pulsa positif melalui pin TRIGGER minimal 10 μ s, selanjutnya HC-SR04 mengirimkan pulsa positif melalui pin ECHO selama 100 μ s hingga 18 ms, yang sebanding dengan jarak objek. Spesifikasi dari sensor ultrasonik HC-SR04 adalah sebagai berikut:

- a. Dimensi: 24mm (P) x 20mm (L) x 17mm (T).
- b. Konsumsi Arus: 30 mA (rata-rata), 50 mA (max).
- c. Jangkauan: 3 cm–3 m.
- d. Sensitifitas: Mampu mendeteksi objek dengan diameter 3 cm pada jarak > 1m.



Gambar 2. 5 Koneksi pada Sensor Ultrasonik HC-SR04
Sumber: Arasada & Suprianto (2017)

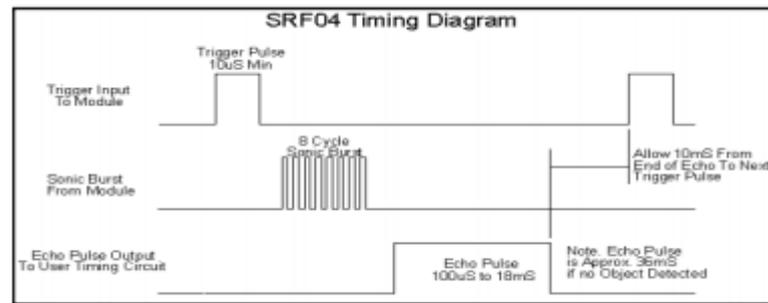
Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik HC-SR04

Menurut Arasada, Prinsip kerja HC-SR04 adalah transmitter memancarkan seberkas sinyal ultrasonik (20 KHz) yang berbentuk pulsa, kemudian jika didepan HC-SR04 ada objek padat maka receiver akan menerima pantulan sinyal ultrasonik tersebut Receiver akan membaca lebar pulsa (dalam bentuk PWM) yang dipantulkan objek dan selisih waktu pemancaran. Dengan pengukuran tersebut, jarak objek didepan sensor dapat diketahui untuk lebih jelasnya, perhatikan gambar 2.6



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



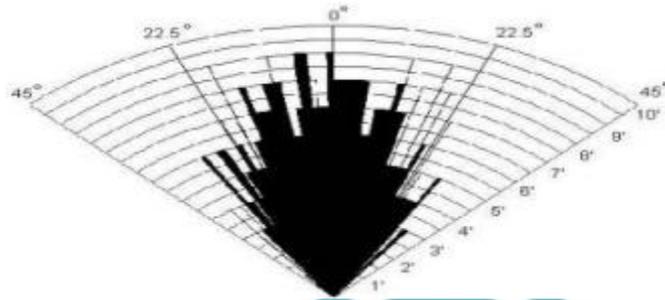
Gambar 2. 6 Timing Diagram Sensor Ultrasonik HC-SR04
Sumber: Arasada & Suprianto (2017)

Pin trigger dan echo dihubungkan ke mikrokontroler. Untuk memulai pengukuran jarak mikro mengeluarkan output high pada pin trigger selama minimal $10 \mu\text{S}$ sinyal high yang masuk membuat sensor HC-SR04 ini mengeluarkan gelombang suara ultrasonik. Kemudian ketika bunyi yang dipantulkan kembali ke sensor HC-SR04, bunyi tadi akan diterima dan membuat keluaran sinyal high pada pin echo yang kemudian menjadi inputan pada mikrokontroler HC-SR04 akan memberikan pulsa $100 \mu\text{s} - 18\text{ms}$ pada outputnya tergantung pada informasi jarak pantulan objek yang diterima. Lamanya sinyal high dari echo inilah yang digunakan untuk menghitung jarak antara sensor HC-SR04 dengan benda yang memantulkan bunyi yang berada didepan sensor. Untuk menghitung lamanya sinyal high yang diterima mikrokontroler dari pin echo, maka digunakan fasilitas timer yang ada pada masing-masing mikrokontroler. Ketika ada perubahan dari low ke high dari pin echo maka akan mengaktifkan timer dan ketika ada perubahan dari high ke low dari pin echo maka akan mematikan timer. Setelah itu yang diperlukan adalah mengkonversi nilai timer dari yang satuannya dalam detik, menjadi ke dalam satuan jarak (inch/cm) dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Jarak (inch)} = \text{waktu hasil pengukuran (us)} / 148 \quad (2)$$

$$\text{Jarak (cm)} = \text{waktu hasil pengukuran (us)} / 58 \quad (3)$$

Berikut ini adalah data perbandingan antara sudut pantulan dan jarak pada sensor ultrasonik HC-SR04



Gambar 2. 7 Pembeding sudut pantul
Sumber: Arasada & Suprianto (2017)

2.5 Motor Servo

Motor servo merupakan sistem kendali tertutup yang menggunakan umpan balik posisi untuk mengatur gerakan dan posisi akhir. Meskipun berbagai fitur tersedia, tetapi fitur utama motor servo adalah kemampuan untuk mengatur posisi poros dengan sangat tepat (Harahap dkk, 2024). Motor servo terdiri dari atas motor Dc, rangkaian roda gigi, potensiometer dan rangkaian kendali. Potensiometer berfungsi sebagai penentu batas sudut dari putaran servo. Sudut poros motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirimkan melalui pin sinyal pada kabel motor (biasanya warna jingga). Umumnya, motor servo tidak dapat bergerak kontinyu seperti motor DC lain dan hanya bergerak mencapai sudut tertentu saja. Namun, untuk beberapa keperluan tertentu, untuk dapat menggerakkan motor servo secara kontinyu bisa dilakukan dengan memodifikasi cara kerjanya (Rudiansyah et al, 2020).



Gambar 2. 8 Servo SG90
Sumber : Lesmana & Sukarno (2025)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritis atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



2.6 LoRa



Gambar 2. 9 Komponen LoRa SX1278

Sumber : Ainul et al. (2023)

Menurut H. Arijuddin dkk, LoRa merupakan sistem telekomunikasi jarak jauh yang memanfaatkan frekuensi radio (RF) dengan penggunaan daya rendah dan pengiriman data yang kecil. Pada saat ini, penggunaan teknologi LoRa mengirim dan menerima data secara luas dari gateway ke end-node dengan jarak yang sangat jauh. Dengan kemampuan ini, LoRa di aplikasikan pada kilang minyak di tengah laut, pemantauan kesehatan, pemantauan pertanian, dan pemantauan kondisi suhu dan kelembaban pada hutan secara real-time. Pengembangan Internet of Things selalu didukung dengan konsep WSN (Wireless Sensor Network).

2.6.1 Chirp Spread Spectrum (CSS)

CSS adalah teknik modulasi yang memanfaatkan perubahan frekuensi (*chirp*) untuk mengkodekan data. Modulasi ini sangat tahan terhadap interferensi dan dapat bekerja dalam kondisi sinyal yang lemah. Dalam sistem LoRa, CSS memungkinkan transmisi sinyal pada jarak jauh dengan keandalan tinggi dan daya transmisi yang rendah, membuatnya ideal untuk aplikasi di area perkotaan dan pedesaan (Nabilah dkk, 2024).

2.6.2 Spreading Factor (SF)

Spreading factor (SF) merupakan salah satu parameter krusial dalam sistem komunikasi LoRa (*Long Range*), yang mempengaruhi kecepatan transmisi data dan jangkauan sinyal. SF didefinisikan sebagai rasio antara kecepatan simbol dan kecepatan chip dalam teknik modulasi *chirp spread spectrum* (CSS). Secara umum, semakin besar nilai SF, maka durasi waktu pengiriman satu simbol akan semakin panjang, sehingga menghasilkan *bitrate* yang lebih rendah namun dengan jangkauan yang lebih jauh serta sensitivitas penerimaan sinyal yang lebih baik. Berdasarkan data teknis yang tersedia, SF7 memiliki jangkauan efektif antara 1

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

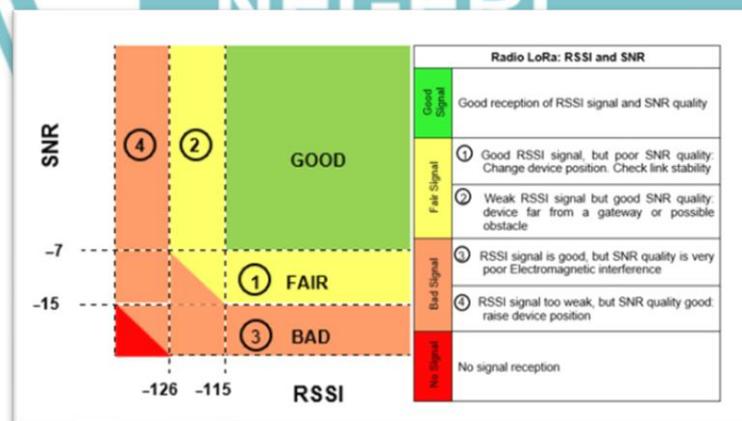
hingga 100 meter dengan *bitrate* sebesar 5469 bps, sedangkan SF8 hingga SF10 memiliki jangkauan 1 hingga 500 meter dengan *bitrate* masing-masing sebesar 3125 bps, 1758 bps, dan 977 bps. Untuk nilai SF yang lebih tinggi, yaitu SF11 dan SF12, jangkauan dapat melebihi 500 meter, namun dengan penurunan *bitrate* secara signifikan menjadi 537 bps dan 293 bps. Oleh karena itu, pemilihan nilai *spreading factor* harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi, baik dari segi jangkauan komunikasi maupun efisiensi kecepatan data yang diinginkan (Yudho & Koerniawan, 2021).

2.6.3 Linear multihop communication

Komunikasi multihop linear adalah metode transmisi data di mana sinyal dikirim dari satu node sumber menuju node tujuan akhir melalui satu atau lebih node perantara (*relay*). Model linear multihop menggambarkan struktur rantai satu dimensi: setiap node hanya saling terhubung ke simpul sebelumnya dan selanjutnya dalam jalur komunikasi yang tetap (Astarina dkk, 2024).

2.7 Parameter Kualitas LoRa

Sebelum membuat jaringan komunikasi, pada umumnya perlu dilakukan pengukuran terhadap kelayakan suatu teknologi radio. Demikian halnya dengan LoRa. Untuk membangun sistem transmisi data yang reliable beberapa parameter yang diukur antara lain adalah: RSSI, SNR, dan packet loss.



Gambar 2. 10 Indeks Parameter SNR dan RSSI
Sumber : Rodrigues et al. (2025)

dari diagram matriks diatas, data kualitas disajikan dalam grafik berwarna. Arti dari masing-masing warna dapat dilihat pada Tabel 2.1



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 2. 1 Indeks parameter SNR dan RSSI

Zona	Rentang Nilai	Kategori Kualitas	Penjelasan
 GOOD	$RSSI \geq -115 \text{ dBm}$ dan $SNR \geq -7 \text{ dB}$	Sangat Baik	Sinyal kuat dan jernih. Koneksi sangat stabil, sangat cocok untuk komunikasi LoRa.
 FAIR	$-126 \leq RSSI < -115 \text{ dBm}$ atau $-15 \leq SNR < -7 \text{ dB}$	Sedang/Cukup	Sinyal mulai lemah atau ada noise, masih bisa digunakan, tapi rawan gangguan.
 BAD	$RSSI \geq -126 \text{ dBm}$ namun $SNR < -15 \text{ dB}$, atau kombinasi sinyal dan noise buruk	Buruk	Komunikasi terganggu oleh interferensi atau sinyal terlalu lemah. Tidak andal.
 NO SIGNAL	$RSSI < -126 \text{ dBm}$ dan SNR sangat rendah ($< -20 \text{ dB}$)	Tidak Ada Sinyal	Tidak bisa komunikasi sama sekali.

2.7.1 Signal to Noise Ratio (SNR)

Menurut Aroeboesman dkk, Signal to Noise Ratio atau SNR adalah parameter yang dapat menentukan kualitas dari sebuah sinyal yang terganggu oleh derau. Menurut Isnawati, SNR ialah perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya sinyal yang tidak diinginkan, yang dihasilkan oleh noise. SNR menyatakan kualitas sinyal informasi yang diterima pada sistem transmisi. SNR juga merupakan batas ambang sinyal analog yang masih dapat diterima. Semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal semakin bagus. Noise yang bernilai besar akan menyebabkan nilai SNR yang semakin kecil. Semakin dekat jarak transmisi, maka akan semakin besar pula kekuatan SNR begitu pula sebaliknya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.7.2 Received Signal Strength Indicator (RSSI)

Menurut Murdyantoro dkk, Received Signal Strength Indicator atau RSSI merupakan indikator kekuatan sinyal terima. RSSI ini merupakan perkiraan level daya terukur yang diterima dari klien RF yang dalam kebanyakan kasus menunjukkan seberapa baik radio tertentu dapat mendengar radio klien yang terhubung jarak jauh.

2.7.3 Packet loss (Paket Hilang)

Menurut Saputra dkk, Packet Loss merupakan suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang dapat terjadi karena collision dan congestion pada jaringan dan hal ini berpengaruh pada semua aplikasi karena retransmisi akan mengurangi efisiensi jaringan secara keseluruhan meskipun jumlah bandwidth cukup tersedia untuk aplikasi – aplikasi tersebut. Umumnya perangkat jaringan memiliki buffer untuk menampung data yang diterima. Jika terjadi kongesti yang cukup lama, buffer akan penuh, dan data baru tidak akan diterima, seperti yang terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Kategori Packet Loss

Kategori Degradasi	Packet Loss (%)
Sangat Bagus	0
Bagus	3
Cukup	15
Buruk	25

2.10 Catu Daya

Menurut Sitohang dkk, Catu daya (Power Supply) adalah sebuah perangkat yang memasok listrik energi untuk satu atau lebih beban listrik. Catu daya menjadi bagian yang penting dalam elektronika yang berfungsi sebagai sumber tenaga listrik misalnya pada baterai atau accu. Pada dasarnya power supply ini mempunyai konstruksi rangkaian yang hampir sama yaitu terdiri dari trafo, penyearah, dan penghalus tegangan.

2.10.1 Dioda

Menurut Fitriono, Dioda adalah salah satu komponen yang sangat sering digunakan seperti halnya resistor dan kapasitor. Secara sederhana sebuah dioda bisa



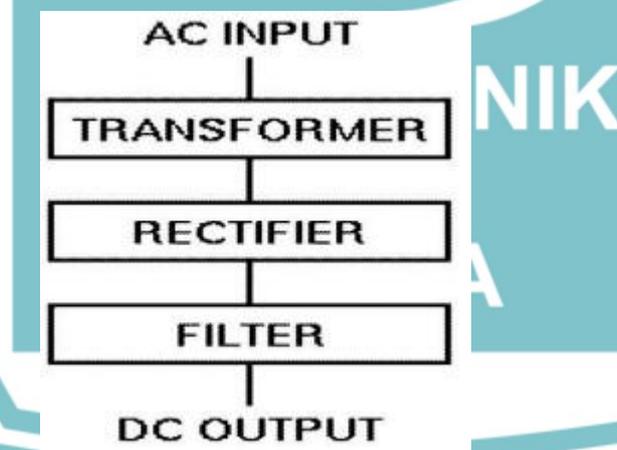
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kita asumsikan sebuah katup, dimana katup tersebut akan terbuka manakala air yang mengalir dari belakang katup menuju kedepan, sedangkan katup akan menutup oleh dorongan aliran air dari depan katup. Atau untuk bisa lebih mengetahui teori dasar dari dioda, berikut saya kan membahasnya.

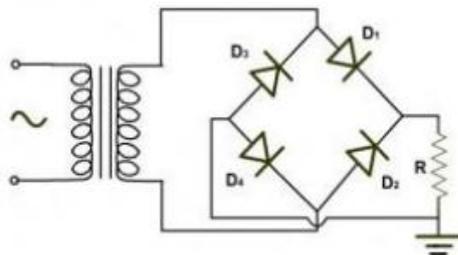
2.10.2 Rectifier

Menurut Wirawan, Konsep dasar penyearah gelombang yang dimaksud dalam artikel ini adalah konsep penyearah gelombang dalam suatu power supply atau catu daya. Penyearah gelombang (rectifier) adalah bagian dari power supply / catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (Alternating Current) menjadi tegangan DC (Direct Current). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfigurasi secara forward bias. Dalam sebuah power supply tegangan rendah, sebelum tegangan AC tersebut di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu di turunkan menggunakan transformator stepdown. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu power supply yaitu, penurun tegangan (transformer), penyearah gelombang / rectifier (diode) dan filter (kapasitor) yang digambarkan dalam blok diagram seperti pada Gambar 2.11.



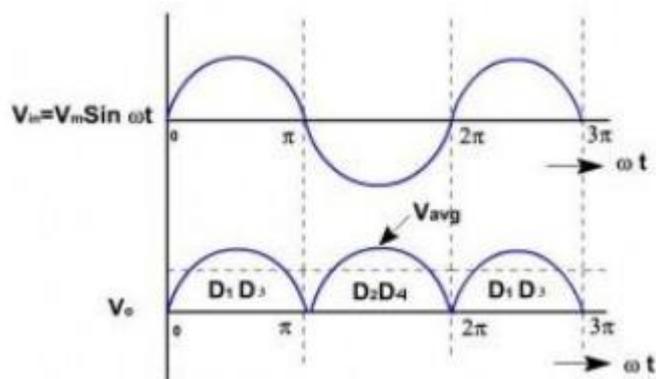
Gambar 2. 11 Blok Diagram Penyearah
Sumber : Wirawan et al. (2017)

Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, Penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Penyearah gelombang penuh dapat dibuat dengan 2 macam yaitu, menggunakan 4 diode dan 2 diode. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 diode menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Rangkaian Penyearah
Sumber : Wirawan et al. (2017)

Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 diode diatas dimulai pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi forward bias dan D2, D3 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi forward bias dan D1, D2 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik output pada Gambar 2.13.

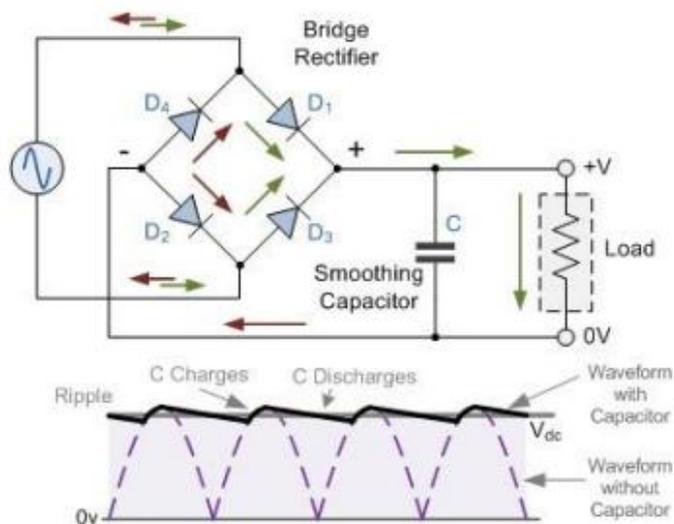


Gambar 2. 13 Grafik Rangkaian Penyearah
Sumber : Wirawan et al. (2017)

Agar tegangan penyearahan gelombang AC lebih rata dan menjadi tegangan DC maka dipasang filter kapasitor pada bagian output rangkaian penyearah seperti terlihat pada Gambar 2.13.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2. 14 Rangkaian Penyearah
Sumber : Wirawan et al. (2017)

Fungsi kapasitor pada rangkaian diatas untuk menekan ripple yang terjadi dari proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang filter kapasitor maka output dari rangkaian penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC (Direct Current) yang dpat diformulasikan sebagai berikut :

$$V_{dc} = \frac{2V_{max}}{\pi} \quad (4)$$

Kemudian untuk nilai ripple tegangan yang ada dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{Ripple} = \frac{I_{load}}{fC} \quad (5)$$

2.10.3 Voltage Regulator

Menurut Filemon, Catu daya yang baik selalu dilengkapi dengan regulator tegangan. Tujuan pemasangan regulator tegangan pada catu daya adalah untuk menstabilkan tegangan keluaran apabila terjadi perubahan tegangan masukan pada catu daya. Salah satu tipe regulator tegangan tetap adalah LM 7805. Regulator tegangan tipe LM 7805 adalah salah satu regulator tegangan tetap dengan tiga terminal, yaitu terminal V_{in} , GND dan V_{out} . Gambar 2.15 adalah susunan kaki IC regulator 7805.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

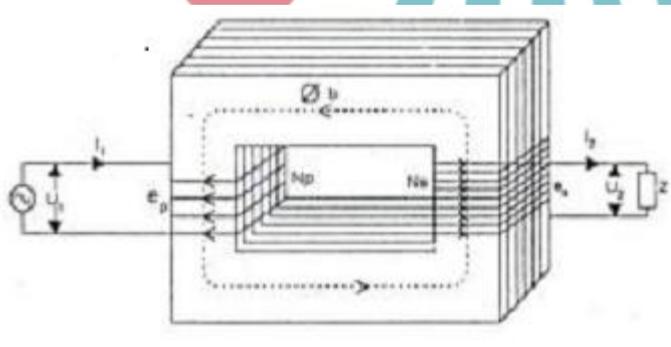


Gambar 2. 15 Susunan kaki IC 7805

Sumber : Filemon et al. (2013)

Terdapat juga fitur pembatas suhu yang akan memutuskan arus apabila regulator terlalu panas. Beberapa seri IC regulator tegangan 78xx yang dijual dipasaran adalah , 7805, 7806, 7808, 7809, 7812, 7815, 7824.

2.10.4 Transformator



Gambar 2. 16 Transformator

Sumber : Hariyono (2019)

Transformator adalah suatu alat listrik statis yang dipergunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dan digunakan untuk memindahkan energi dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya tanpa merubah frekuensi. Transformator disebut peralatan statis karena tidak ada bagian yang bergerak atau berputar, tidak seperti motor atau generator. Dalam bentuknya yang paling sederhana, transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Dua kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder.

BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI

3.1 Perancangan Alat

3.1.1 Deskripsi Alat

Pada Tugas Akhir ini menggunakan sensor HC-SR04 sebagai sensor jarak, ESP32 sebagai mikrokontroler, Servo motor sebagai palang perlintasan, LoRa sebagai transmisi pesan dengan frekuensi 433MHz, Buzzer sebagai indikator suara dan LED sebagai indikator peringatan. Pada Tugas Akhir ini merancang 3 modul yaitu modul pertama sebagai detektor 1, modul kedua sebagai perlintasan dan modul 3 sebagai detektor 2. Pada modul pertama dan modul ketiga menggunakan sensor HC-SR04, ESP32 dan LoRa. Pada modul kedua menggunakan HC-SR04, ESP32, LoRa, Servo Motor, Buzzer dan LED.

3.1.2 Cara Kerja

Sistem ini terdiri dari tiga modul utama yang terhubung menggunakan komunikasi nirkabel LoRa untuk mengatur keselamatan pada perlintasan kereta api. Modul pertama berfungsi sebagai pendeteksi kedatangan kereta dari arah A dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04. Ketika kereta terdeteksi oleh modul pertama, maka modul ini akan mengirimkan sinyal berupa pesan "D1" ke modul kedua, yaitu modul perlintasan. Penerimaan pesan "D1" oleh modul kedua menandakan bahwa kereta sedang mendekati perlintasan, sehingga sistem segera menutup palang otomatis, menyalakan buzzer sebagai peringatan suara, dan mengaktifkan lampu LED sebagai peringatan visual. Selanjutnya, modul kedua akan mengirimkan pesan "STOP2" ke modul ketiga. Pesan ini berfungsi untuk memberi tahu bahwa kereta akan segera melewati perlintasan, sehingga modul ketiga menghentikan pembacaan sensor selama beberapa saat untuk menghindari deteksi palsu. Setelah kereta benar-benar melewati perlintasan dan terdeteksi oleh modul ketiga (setelah delay tertentu), modul ketiga akan membuka kembali palang, serta mematikan buzzer dan LED.

Apabila kereta datang dari arah berlawanan, maka proses diawali dari modul ketiga. Modul ini mendeteksi keberadaan kereta dengan sensor HC-SR04 dan kemudian mengirimkan sinyal "D2" ke modul kedua. Pesan "D2" memberi sinyal



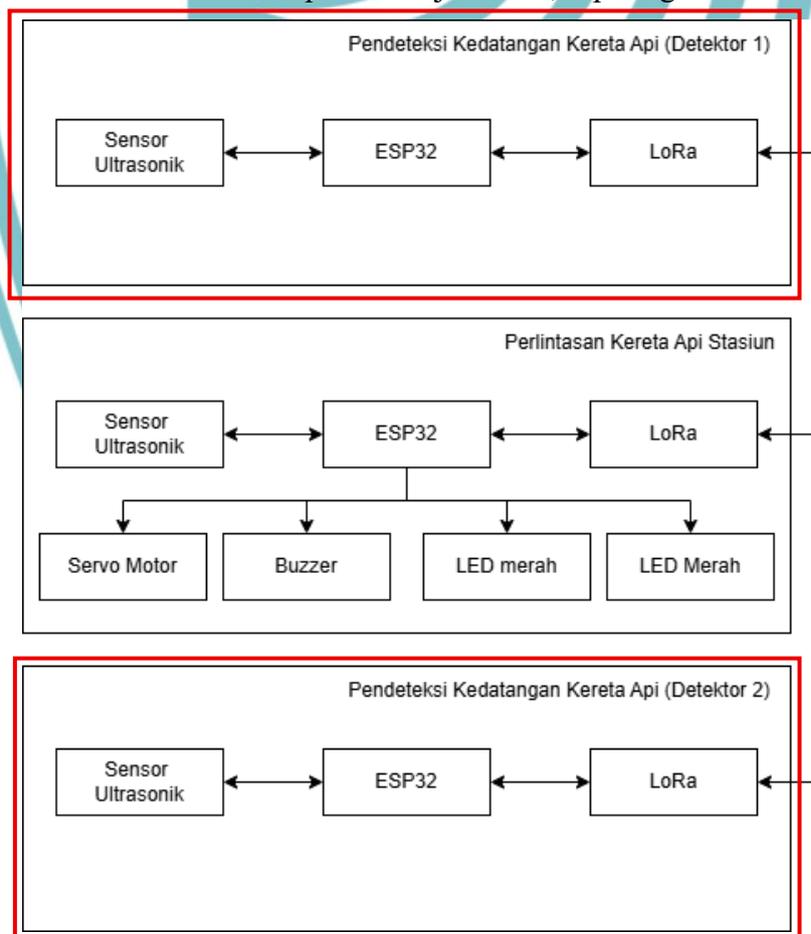
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

bahwa kereta datang dari arah sebaliknya dan sedang menuju perlintasan. Modul kedua pun melakukan tindakan yang sama seperti pada pesan "D1", yaitu menutup palang, menyalakan buzzer dan LED, kemudian mengirimkan pesan "STOP1" ke modul pertama. Modul pertama kemudian menghentikan pembacaan sensor sementara waktu. Setelah kereta benar-benar melewati perlintasan, sistem akan membuka kembali palang dan mematikan perangkat peringatan. Dengan demikian, pesan "D1" dan "D2" berfungsi sebagai pemicu utama dalam sistem untuk mengatur koordinasi antar modul dan memastikan proses buka-tutup palang berjalan secara otomatis dan aman.

3.1.3 Diagram Blok

Untuk mempermudah pengerjaan tugas akhir Rancang Bangun perlintasan kereta api berbasis loRa maka dibuat diagram blok yang dapat menjelaskan secara keseluruhan dalam memetakan proses kerja sistem, seperti gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Blok



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.1 menunjukkan diagram blok sistem pendeteksi dan pengendali otomatis palang perlintasan kereta api berbasis komunikasi LoRa. Sistem ini terdiri dari tiga modul utama, yaitu Detektor 1, Modul Perlintasan, dan Detektor 2. Masing-masing modul menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali dan saling terhubung melalui modul komunikasi LoRa. Detektor 1 berfungsi untuk mendeteksi kedatangan kereta dari arah pertama menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04. Ketika kereta terdeteksi pada jarak tertentu, ESP32 akan mengirimkan sinyal berupa pesan “D1” melalui LoRa ke Modul Perlintasan. Modul Perlintasan akan merespons pesan tersebut dengan menurunkan palang otomatis menggunakan servo motor, menyalakan buzzer sebagai peringatan suara, serta menyalakan dua LED merah sebagai indikator visual. Setelah itu, modul ini juga mengirimkan pesan “STOP2” ke Detektor 2 untuk memberi tahu bahwa kereta sedang melintasi perlintasan, sehingga Detektor 2 menghentikan pembacaan sensor sementara waktu.

Sebaliknya, jika kereta datang dari arah berlawanan, proses akan dimulai dari Detektor 2. Sensor ultrasonik pada modul ini akan mendeteksi kereta dan mengirimkan sinyal “D2” ke Modul Perlintasan. Modul Perlintasan kemudian melakukan prosedur yang sama: menutup palang, mengaktifkan buzzer dan LED, lalu mengirimkan pesan “STOP1” ke Detektor 1 agar menghentikan pembacaan sensor untuk sementara. Setelah kereta benar-benar melewati perlintasan, palang akan dibuka kembali, dan sistem kembali ke keadaan awal. Diagram ini menunjukkan bagaimana ketiga modul berkoordinasi secara otomatis dan real-time melalui komunikasi LoRa untuk menjamin keselamatan di perlintasan kereta api tanpa perlu intervensi manual.

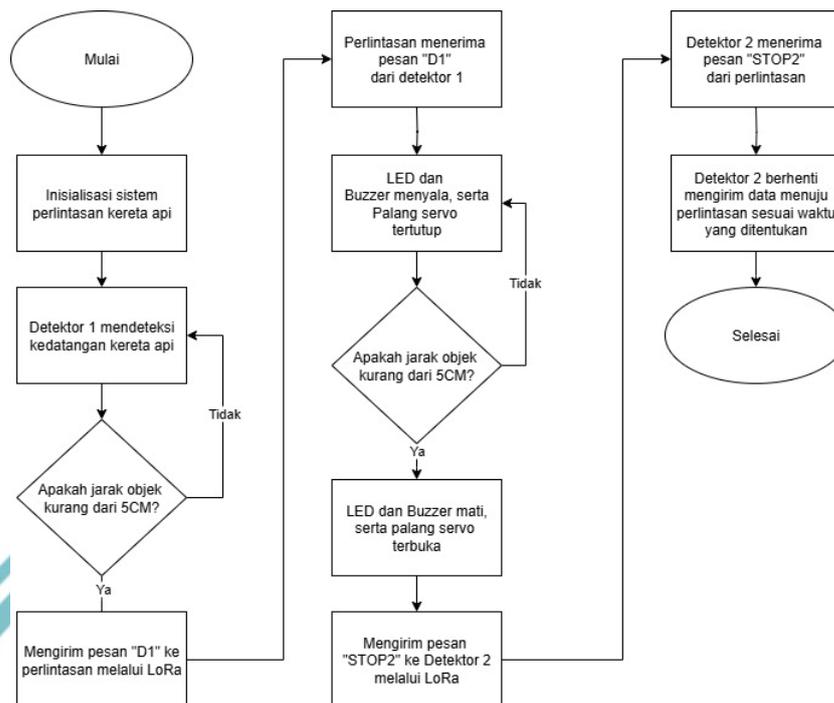
3.1.4 Flowchart

Gambar 3.2 menunjukkan flowchart Sistem perlintasan kereta api berbasis LoRa ketika kereta melewati Detektor 1 terlebih dulu. Gambar 3.3 menunjukkan flowchart Sistem perlintasan kereta api berbasis LoRa ketika kereta melewati Detektor 2 terlebih dulu.

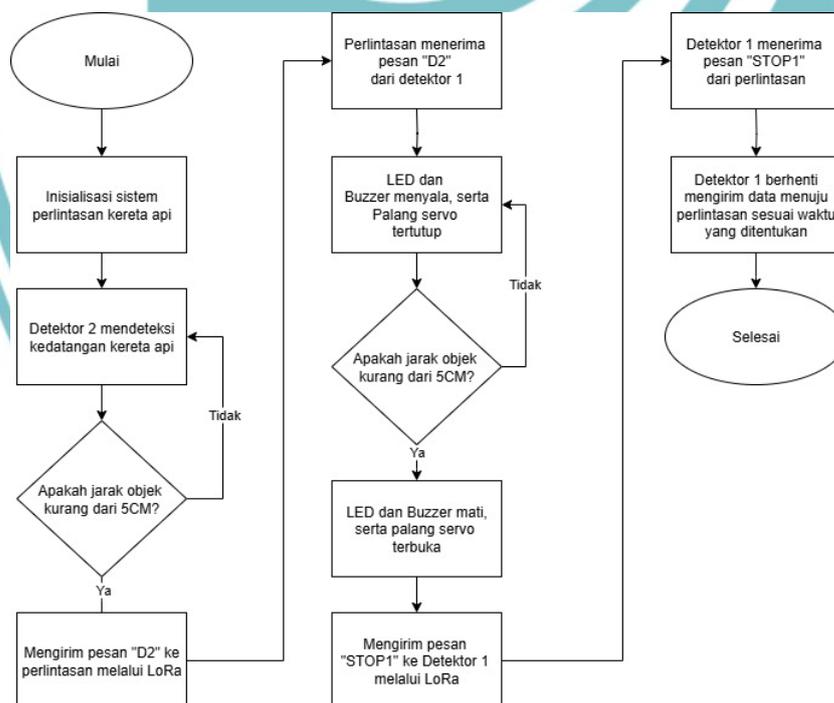


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 2 Diagram alir sistem jika kereta melewati detektor 1 terlebih dahulu



Gambar 3. 3 Diagram alir sistem jika kereta melewati detektor 2 terlebih dahulu



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.2 menunjukkan alur kerja sistem perlintasan kereta api ketika detektor 1 mendeteksi kedatangan kereta terlebih dahulu. Proses dimulai dari tahap inisialisasi sistem perlintasan kereta api. Setelah detektor 1 mendeteksi keberadaan kereta, sistem memeriksa apakah jarak objek yang terdeteksi kurang dari 5 cm. Jika kondisi ini terpenuhi, pesan “D1” dikirim ke perlintasan melalui jaringan LoRa. Selanjutnya, perlintasan menerima pesan “D1” dan memberikan sinyal untuk menyalakan LED serta buzzer sebagai peringatan. Pada saat yang sama, palang servo ditutup untuk menghentikan kendaraan yang akan melintas. Setelah itu, sistem kembali memeriksa jarak objek. Jika jarak objek kembali kurang dari 5 cm, sistem mematikan LED dan buzzer, serta membuka palang servo. Kemudian, pesan “STOP2” dikirim ke detektor 2 melalui LoRa untuk menghentikan pengiriman data dari detektor 2 sesuai waktu yang ditentukan, dan proses pun berakhir.

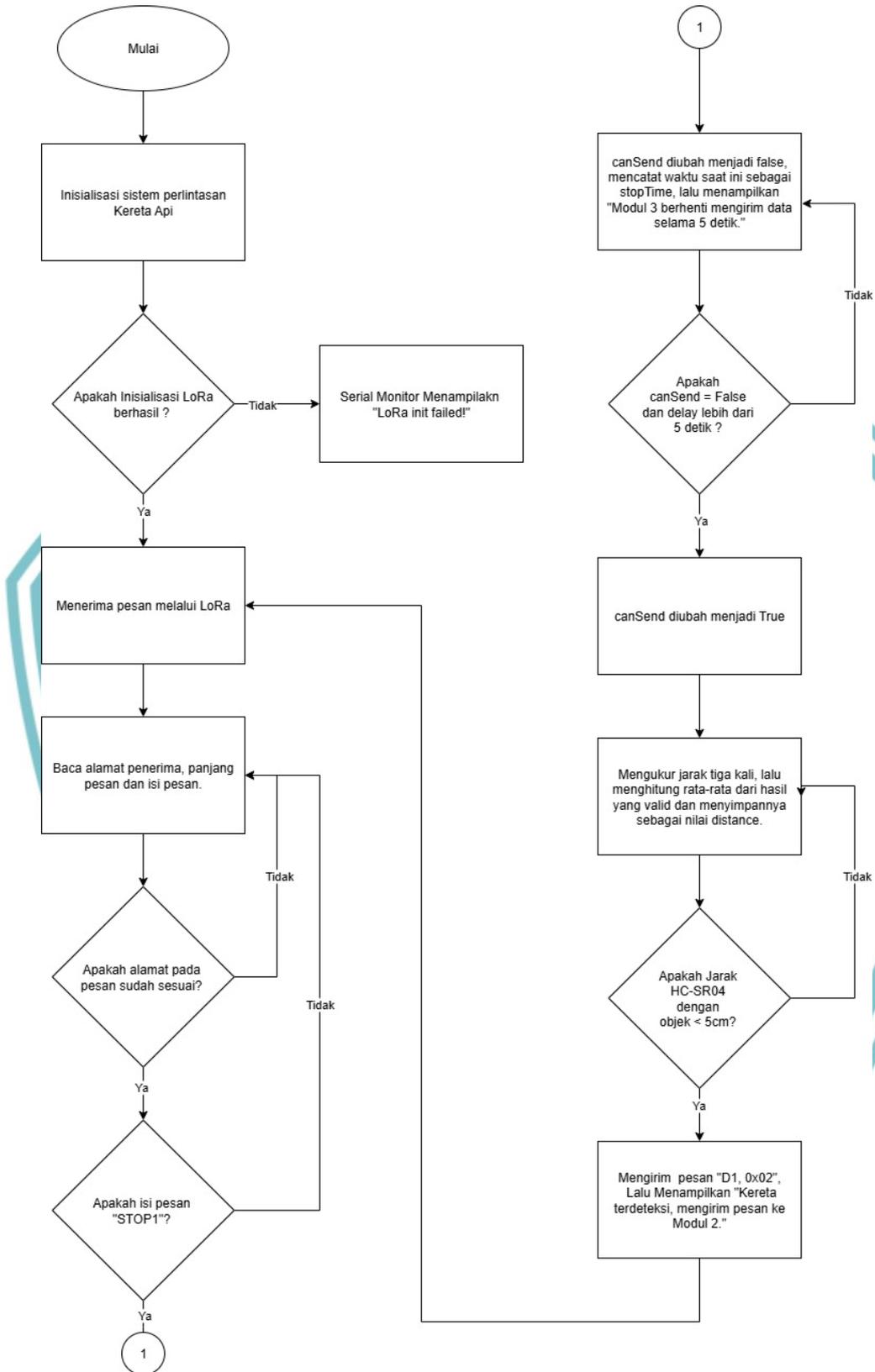
Gambar 3.3 menggambarkan alur kerja sistem perlintasan kereta api jika detektor 2 mendeteksi kedatangan kereta terlebih dahulu. Prosesnya serupa dengan flowchart pertama, dimulai dari inisialisasi sistem perlintasan. Setelah detektor 2 mendeteksi kereta, sistem memeriksa apakah jarak objek kurang dari 5 cm. Jika benar, pesan “D2” dikirimkan ke perlintasan melalui jaringan LoRa. Perlintasan kemudian menerima pesan “D2” dan memberikan peringatan melalui LED dan buzzer yang menyala, serta menutup palang servo. Sistem kembali melakukan pengecekan jarak objek. Apabila jarak objek masih kurang dari 5 cm, maka LED dan buzzer dimatikan, serta palang servo dibuka kembali. Selanjutnya, pesan “STOP1” dikirimkan ke detektor 1 melalui LoRa agar detektor 1 berhenti mengirimkan data dalam waktu yang telah ditentukan, dan proses selesai.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



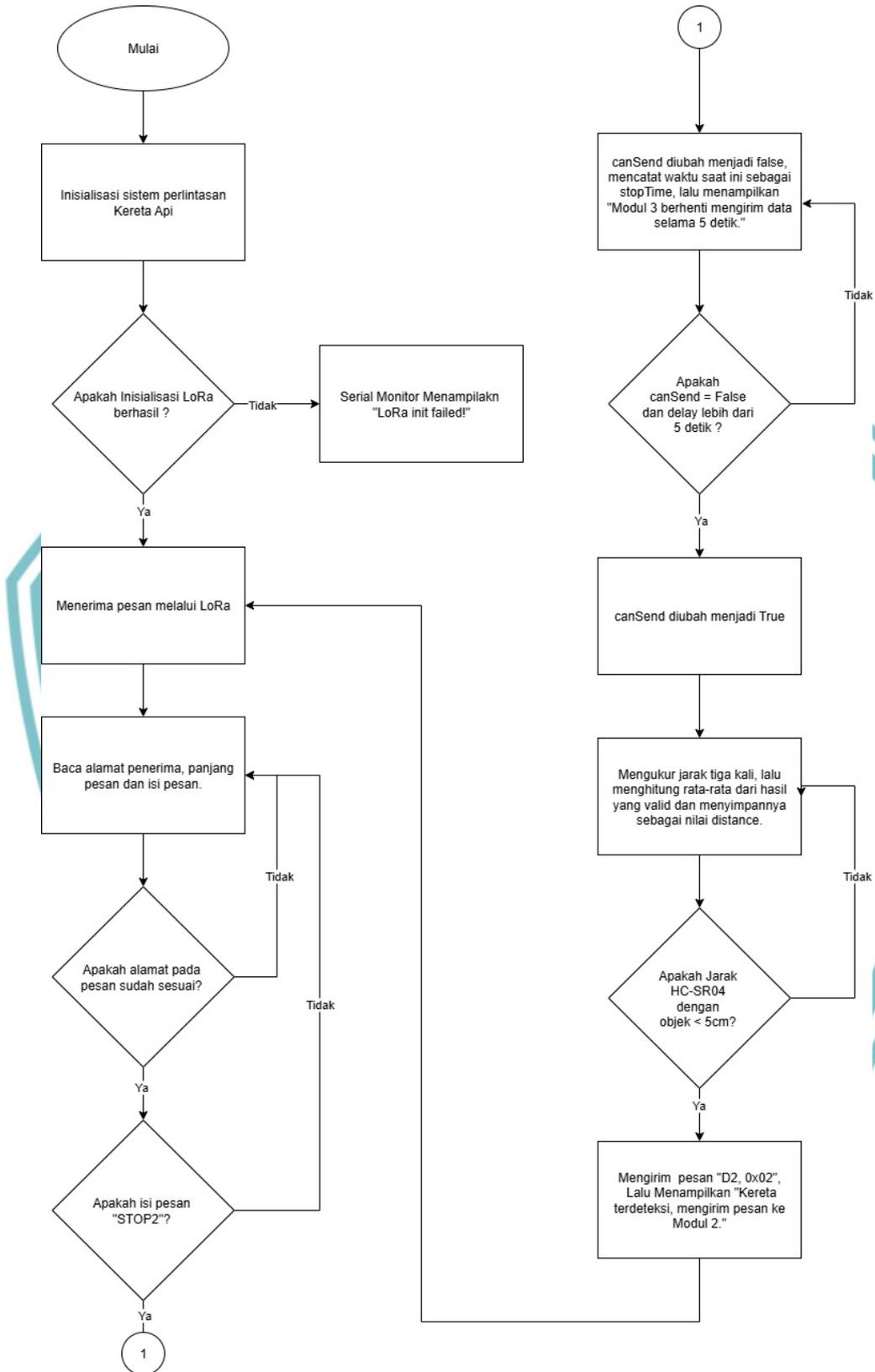
Gambar 3. 4 Flowchart program Detektor 1



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 5 Flowchart program Detektor 2



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.4 menunjukkan alur program sistem perlintasan kereta api dengan fokus pada pengiriman pesan dari modul detektor 1 menggunakan komunikasi LoRa. Proses dimulai dari inisialisasi sistem perlintasan kereta api. Setelah itu, sistem memeriksa keberhasilan inisialisasi LoRa. Jika LoRa gagal diinisialisasi, Serial Monitor menampilkan pesan “LoRa init failed!”. Namun, jika inisialisasi berhasil, sistem melanjutkan untuk menerima pesan melalui LoRa. Pesan yang diterima kemudian diperiksa, mencakup alamat penerima, panjang pesan, serta isi pesan. Jika alamat pada pesan sesuai dan isi pesan adalah “STOP1”, maka alur berpindah ke bagian lanjutan (ditandai dengan angka 1). Dalam tahap ini, variabel `canSend` diubah menjadi `false`, mencatat waktu berhenti pengiriman data selama 5 detik, dan menampilkan pesan “Modul 3 berhenti mengirim data selama 5 detik”. Setelah 5 detik, variabel `canSend` dikembalikan menjadi `true`, dan sistem melakukan pengukuran jarak tiga kali. Hasil pengukuran yang valid diambil rata-ratanya sebagai nilai `distance`. Jika jarak objek yang terdeteksi oleh sensor HC-SR04 kurang dari 5 cm, sistem mengirimkan pesan “D1, 0x02” dan menampilkan informasi “Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke Modul 2”.

Gambar 3.5 menunjukkan alur program sistem perlintasan kereta yang serupa dengan Gambar 3.4, namun difokuskan pada pengiriman pesan dari detektor 2. Sistem dimulai dengan inisialisasi perlintasan kereta api, kemudian memeriksa keberhasilan inisialisasi LoRa. Jika gagal, Serial Monitor juga akan menampilkan pesan “LoRa init failed!”. Jika berhasil, sistem menerima pesan melalui LoRa dan membaca alamat penerima, panjang pesan, serta isi pesan. Pesan hanya diproses jika alamat sudah sesuai. Jika isi pesan adalah “STOP2”, sistem berlanjut ke bagian lanjutan (ditandai dengan angka 1). Sama seperti flowchart pertama, variabel `canSend` diubah menjadi `false` untuk menghentikan pengiriman data selama 5 detik dengan menampilkan pesan “Modul 3 berhenti mengirim data selama 5 detik”. Setelah itu, `canSend` kembali menjadi `true`. Selanjutnya, sistem mengukur jarak tiga kali, menghitung rata-rata hasil valid, dan menyimpannya sebagai `distance`. Jika jarak objek yang terdeteksi oleh sensor HC-SR04 kurang dari 5 cm, sistem mengirimkan pesan “D2, 0x02” dan menampilkan pesan “Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke Modul 2”.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



3.1.5 Spesifikasi Alat

Pada perancangan ini, sistem perlintasan kereta api berbasis loRa terdiri dari berbagai perangkat. Adapun spesifikasi dari masing-masing perangkat ditampilkan pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat

Nama Alat dan Software	Spesifikasi
ESP-32 DOIT Board	Tegangan suplai VIN 5-12V (rekomendasi 7-9V)
CH340	Wi-Fi: 802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz up to 150 Mbit/s) Memori: 520 KB SRAM, 4 MB Flash Maximum clock 120 MHz
LoRa RA-02 SX1278	Jarak komunikasi hingga 10.000 meter Output RF power konstan sebesar +20dBm (100mW) Sensitivitas tinggi: hingga -148dBm.
Buzzer (Active)	Tegangan Operasi: 3–5V DC
Motor Servo	Stall Current: 1.5A Operating speed: 0.1sec/60degree(4.8v) Operating voltage: 4.8v
LED	Tegangan Maju: 1.8V – 2.2V
HC-SR04	Tegangan: 5V Sinyal Output: high level 5V, low level 0V.
IC L7805CV	Output current: 1.5A Output voltages: 5V
Trafo Transformer	Input: AC 220V 50 Hz
Power	Output: Non-CT 9V, 1000mA
Saklar	Tipe: 2 kaki
Kapasitor (ELCO)	Nilai Kapasitansi: 2200 μ F Tegangan Kerja Maksimum: 25V DC
Dioda	Arus Maju Maksimum: 1A Tegangan Maju Maksimum: ~0.7V, 1A Tegangan Reverse Maksimum: 1000V
Resistor	Resistance: 220 ohm

Hak Cipta :

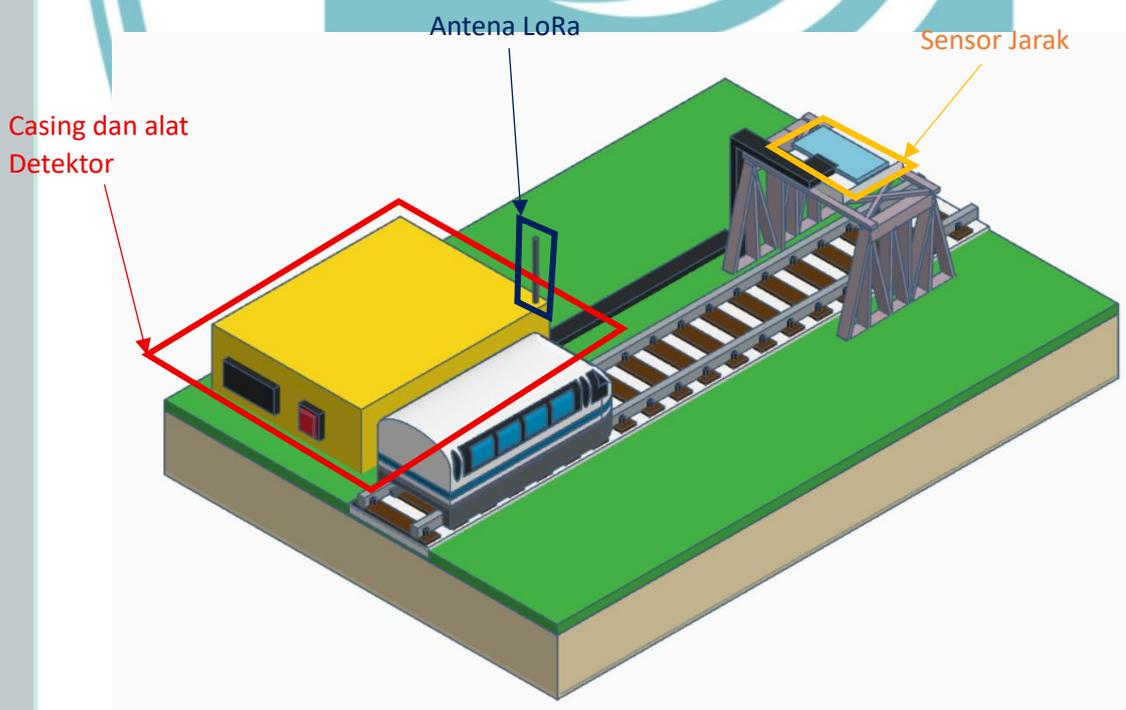
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

3.1.6 Ilustrasi Alat

Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu casing detektor, antena LoRa, dan sensor jarak. Casing detektor berwarna kuning berfungsi sebagai pelindung komponen elektronik di dalamnya, seperti mikrokontroler ESP32, modul LoRa, rangkaian catu daya, dan komponen lainnya. Di bagian atas casing terdapat antena LoRa yang berfungsi untuk mengirim dan menerima data secara nirkabel antar modul dalam sistem. Sementara itu, sensor jarak yang ditunjukkan berwarna oranye diletakkan di atas rel dengan dukungan menyerupai jembatan kecil. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan kereta dengan mengukur jarak antara sensor dan badan kereta. Ketika sensor mendeteksi jarak yang sangat dekat, sistem akan mengidentifikasi adanya kereta yang melintas dan mengirimkan sinyal ke modul perlintasan. Ilustrasi ini menggambarkan bagaimana sistem bekerja secara terintegrasi untuk meningkatkan keselamatan di perlintasan kereta api, terutama di wilayah yang belum dilengkapi dengan pengamanan otomatis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Ilustrasi Alat

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan Laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

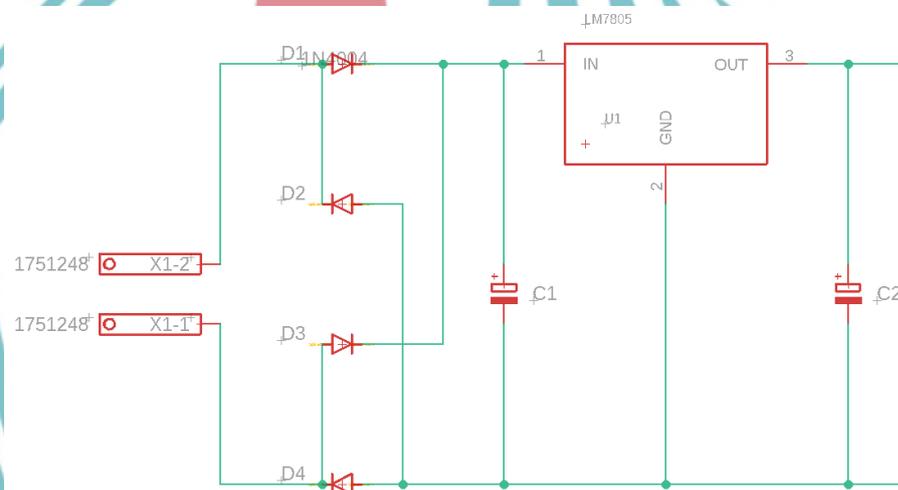


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.7 Perencanaan Alat Detektor 1 dan 2 serta Power Supply

Dalam tahap perencanaan, penulis terlebih dahulu merancang skematik rangkaian power supply serta alat detektor menggunakan perangkat lunak Eagle. Skematik ini mencakup seluruh komponen yang diperlukan sesuai dengan kebutuhan sistem. Desain skematik power supply ditunjukkan pada Gambar 3.7 dan Desain skematik alat pendeteksi kedatangan kereta api (detektor) ditunjukkan pada Gambar 3.8. Setelah skematik selesai, penulis melanjutkan dengan merancang layout PCB pada software yang sama. Layout PCB ini merupakan tata letak fisik komponen dan jalur koneksi pada papan rangkaian, seperti terlihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 7 Skematik Detektor 1 dan Detektor 2

Gambar 3.7 menunjukkan sebuah rangkaian catu daya DC dengan penyearah gelombang penuh berbasis jembatan dioda dan regulator tegangan LM7805 untuk menghasilkan keluaran tegangan 5V yang stabil. Tegangan AC dari terminal input X1-1 dan X1-2 diarahkan melalui empat dioda D1, D2, D3, dan D4 yang membentuk jembatan penyearah. Susunan ini memastikan arus selalu mengalir dalam arah yang benar sehingga tegangan AC diubah menjadi tegangan DC pulsating. Setelah proses penyearahan, tegangan DC ini difilter oleh kapasitor elektrolit C1 yang memiliki nilai 2200 μ F. Kapasitor ini berfungsi untuk mengurangi ripple dan meratakan gelombang DC sebelum masuk ke regulator.

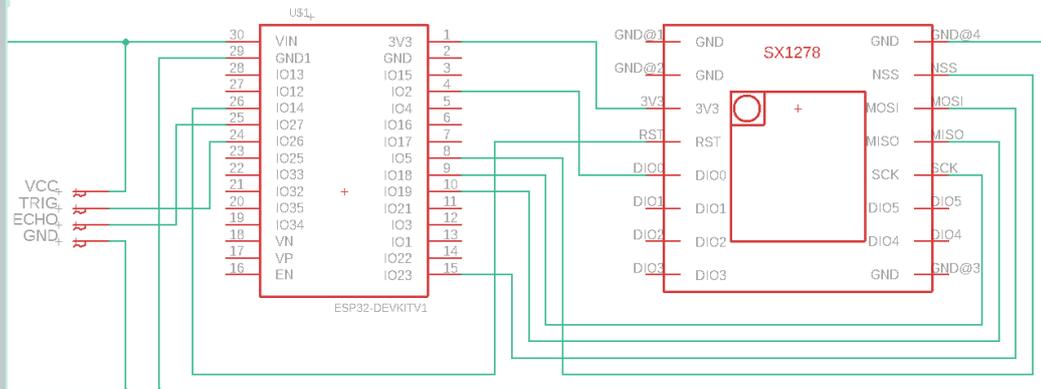
Regulator tegangan LM7805 (U1) kemudian menurunkan serta menstabilkan tegangan masukan umumnya 9–12V DC menjadi 5V DC yang konstan pada keluaran. Tegangan keluaran ini kembali disaring oleh kapasitor C2 yang juga



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

bernilai 2200 μF untuk memastikan tegangan benar-benar stabil dan bebas dari noise. Dengan konfigurasi ini, rangkaian dapat digunakan sebagai sumber daya andal bagi perangkat elektronik yang membutuhkan suplai tegangan 5V stabil, seperti mikrokontroler dan modul sensor.



Gambar 3. 8 Layout PCB Detektor 1 dan Detektor 2

Gambar 3.8 menunjukkan skematik rangkaian komunikasi dan sensor berbasis ESP32, modul LoRa SX1278, serta sensor ultrasonik HC-SR04. Pada rangkaian ini, ESP32 (U3) berperan sebagai mikrokontroler utama yang mengontrol pengambilan data jarak dari sensor HC-SR04 sekaligus mengirimkan data tersebut melalui komunikasi nirkabel LoRa.

Sensor HC-SR04 dihubungkan ke ESP32 melalui empat pin: VCC, TRIG, ECHO, dan GND. Pin VCC sensor dihubungkan ke jalur daya 5V (melalui regulator atau suplai dari ESP32), sementara pin GND ke ground. Pin TRIG dan ECHO masing-masing dihubungkan ke pin I/O digital ESP32 (misalnya IO32 dan IO33) untuk memicu sinyal ultrasonik dan menerima pantulannya guna menghitung jarak objek.

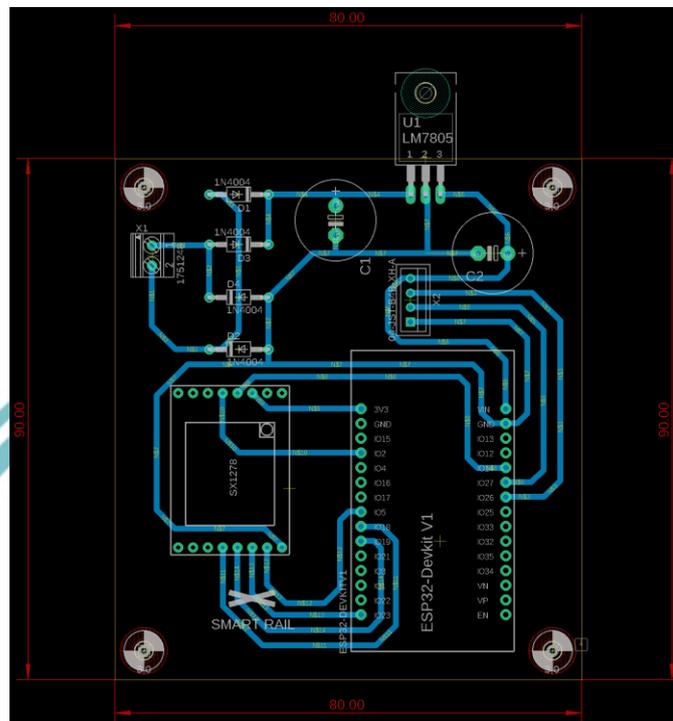
Modul LoRa SX1278 digunakan untuk komunikasi jarak jauh. Modul ini terhubung ke ESP32 melalui antarmuka SPI. Pin NSS, MOSI, MISO, dan SCK dari SX1278 masing-masing terhubung ke pin I/O ESP32 yang sesuai. Pin DIO0 sampai DIO5 digunakan untuk fungsi interrupt dan pengaturan komunikasi. Pin 3V3 pada SX1278 dihubungkan ke output 3.3V ESP32 untuk suplai daya, dan pin GND dihubungkan ke ground bersama.

Rangkaian ini dirancang untuk membaca data jarak dari HC-SR04, mengolahnya dengan ESP32, lalu mengirimkan hasilnya melalui jaringan LoRa



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

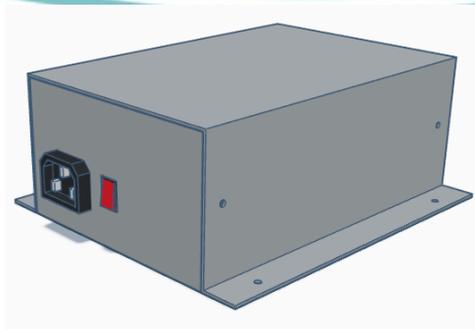
menggunakan modul SX1278. Konfigurasi ini sangat cocok untuk aplikasi Internet of Things (IoT) seperti sistem monitoring jarak atau deteksi objek jarak jauh.



Gambar 3. 9 Layout PCB

3.1.8 Perencanaan Case serta maket alat detektor.

Pada tahap perencanaan, penulis terlebih dahulu mendesain bentuk fisik case dan maket alat detektor dalam format tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak desain. Desain ini bertujuan untuk menyesuaikan bentuk case dengan ukuran dan posisi komponen elektronik yang akan dipasang, serta menciptakan maket lingkungan alat detektor yang menyerupai kondisi nyata. Hasil desain 3D tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.10. Setelah desain bentuk selesai, penulis juga membuat gambar teknik sebagai panduan dalam proses pembuatan fisik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 10 Bentuk case dalam format 3D

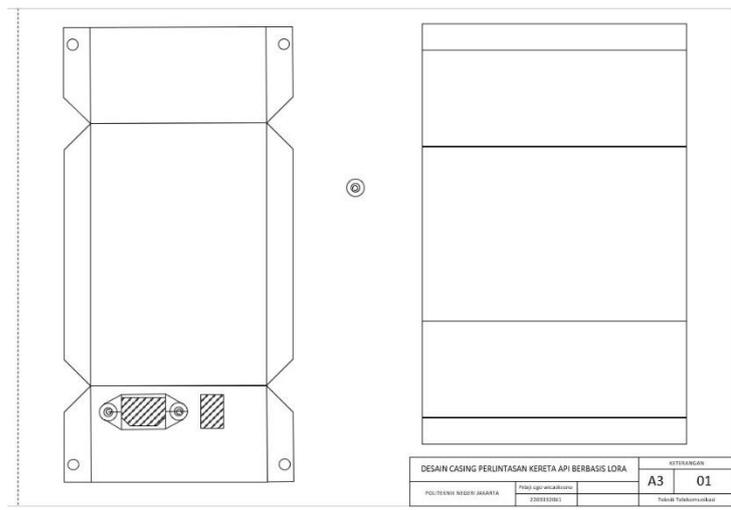
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , pennisan karya ilmiah, pennisan laporan, pennisan kritik atau tinjauan satu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 11 Bentuk case dalam format gambar teknik

3.2 Realisasi Alat

3.2.1 Skecth yang digunakan pada alat detektor 1 dan detektor 2.

Pada alat deteksi kedatangan kereta api (Detektor), program Detektor 1 dan Detektor 2 memiliki banyak kesamaan, hanya sedikit perubahan yaitu pada alamat lokal dan pesan yang di proses seperti STOP1, D1 untuk Detektor 1 dan STOP2, D2 untuk Detektor 2. Perangkat Detektor 1 menggunakan program sebagai berikut berikut :

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

#define SS 5
#define RST 14
#define DIO0 2
#define TRIG_PIN 26
#define ECHO_PIN 27
#define TIMEOUT 30000

byte LocalAddress = 0x01; // 0x03 untuk detektor 3
byte Destination_ESP32_2 = 0x02;
bool canSend = true;
unsigned long stopTime = 0;
unsigned long lastSentTime = 0;
```

Program di atas merupakan bagian awal dari sebuah proyek berbasis ESP32 yang menggunakan modul LoRa dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi keberadaan objek, seperti kereta, pada jalur perlintasan. Program ini mengimpor dua pustaka penting, yaitu SPI.h untuk komunikasi SPI dan LoRa.h untuk pengoperasian modul LoRa. Beberapa pin didefinisikan untuk koneksi LoRa, yaitu SS (pin 5), RST (pin 14), dan DIO0 (pin 2), serta untuk sensor ultrasonik, yaitu



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

TRIG (pin 26) dan ECHO (pin 27). Konstanta TIMEOUT digunakan untuk membatasi waktu tunggu pembacaan sensor ultrasonik (dengan fungsi pulseIn) hingga 30 milidetik.

Variabel LocalAddress diatur ke 0x01 yang merepresentasikan alamat node LoRa ini, sedangkan Destination_ESP32_2 (alamat tujuan) diatur ke 0x02, kemungkinan untuk mengirim data ke node lain. Variabel canSend bertipe boolean menandakan apakah perangkat diperbolehkan mengirim data, sementara stopTime dan lastSentTime menyimpan waktu terakhir suatu aksi dilakukan, menggunakan fungsi millis(). Variabel-variabel ini nantinya sangat berguna untuk mengatur interval pengiriman data dan pengendalian logika komunikasi LoRa agar tidak bertabrakan atau terkirim berlebihan.

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
  LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);

  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println("LoRa init failed!");
    while (true);
  }
}
```

Program setup() di atas digunakan untuk melakukan inisialisasi awal sistem berbasis ESP32 yang menggunakan sensor ultrasonik dan modul komunikasi LoRa. Fungsi Serial.begin(115200) digunakan untuk memulai komunikasi serial dengan baud rate 115200, sehingga data dapat ditampilkan di Serial Monitor untuk tujuan debugging atau monitoring.

Selanjutnya, dua pin dikonfigurasi untuk sensor ultrasonik HC-SR04: TRIG_PIN disetel sebagai output (untuk mengirim pulsa ultrasonik), dan ECHO_PIN sebagai input (untuk menerima pantulan pulsa). Sensor ini umumnya digunakan untuk mengukur jarak.

Bagian penting berikutnya adalah inisialisasi LoRa. Fungsi LoRa.setPins(SS, RST, DIO0) digunakan untuk menetapkan pin yang terhubung ke modul LoRa, yaitu SS (chip select), RST (reset), dan DIO0 (interrupt/data ready). Kemudian, LoRa.begin(433E6) digunakan untuk memulai komunikasi LoRa dengan frekuensi 433 MHz. Jika inisialisasi LoRa gagal (mengembalikan nilai false), maka pesan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

"LoRa init failed!" akan dicetak ke Serial Monitor, dan program akan masuk ke loop while (true), sehingga sistem berhenti dan tidak menjalankan fungsi lainnya.

```
void loop() {
  checkForLoRaMessage();

  if (!canSend && millis() - stopTime < 5000) return;
  canSend = true;

  float distance = getDistance();

  if (distance < 5 && millis() - lastSentTime > 200) {
    sendMessage("D1", Destination_ESP32_2); //D2 untuk
    detektor 2
    Serial.println("Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke
    Modul 2.");
    lastSentTime = millis();
  }
}
```

Program di atas merupakan bagian dari fungsi loop() pada Arduino yang dijalankan secara terus-menerus untuk mendeteksi keberadaan kereta menggunakan sensor ultrasonik dan mengirimkan pesan melalui modul LoRa. Fungsi checkForLoRaMessage() pertama kali dipanggil untuk memeriksa apakah ada pesan yang diterima melalui LoRa. Selanjutnya, terdapat logika untuk menunda pengiriman pesan jika variabel canSend bernilai false dan waktu jeda selama 5 detik (5000 milidetik) belum terlewat sejak stopTime. Jika sudah lewat atau canSend bernilai true, maka sistem akan kembali diperbolehkan mengirim pesan. Kemudian, sistem mengukur jarak menggunakan fungsi getDistance(). Jika jarak yang terukur kurang dari 5 cm dan selang waktu sejak pengiriman terakhir lebih dari 200 milidetik, maka pesan "D1" akan dikirim ke modul LoRa dengan alamat Destination_ESP32_2. Pesan tersebut mengindikasikan bahwa kereta telah terdeteksi, dan informasi ini juga ditampilkan melalui Serial Monitor. Terakhir, waktu pengiriman terakhir diperbarui menggunakan millis(). Program ini berfungsi sebagai pendeteksi kereta otomatis yang mengirim sinyal peringatan ke modul lain saat kereta lewat.

```
float getDistance() {
  float totalDistance = 0;
  int validReadings = 0;

  for (int i = 0; i < 3; i++) {
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

long duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, TIMEOUT);
float distance = (duration > 0) ? (duration * 0.034 / 2)
: -1;

if (distance > 0) {
    totalDistance += distance;
    validReadings++;
}
delay(10);
}

return (validReadings > 0) ? totalDistance / validReadings
: 0;
}

```

Fungsi `getDistance()` pada program di atas digunakan untuk mengukur jarak antara sensor ultrasonik dengan objek di depannya. Fungsi ini melakukan tiga kali pembacaan untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Setiap kali pembacaan, pin `TRIG_PIN` diatur LOW selama 2 mikrodetik untuk memastikan kondisi awal, lalu diberi pulsa HIGH selama 10 mikrodetik agar sensor HC-SR04 memancarkan gelombang ultrasonik. Setelah itu, fungsi `pulseIn()` digunakan untuk mengukur durasi pantulan gelombang ultrasonik yang diterima kembali melalui pin `ECHO_PIN`. Nilai durasi kemudian dikonversi menjadi jarak dalam satuan sentimeter dengan rumus $(duration * 0.034 / 2)$, karena kecepatan suara di udara adalah $0.034 \text{ cm}/\mu\text{s}$ dan pembagian 2 digunakan untuk menghitung jarak pulang-pergi. Jika hasil pengukuran valid (lebih dari 0), nilai tersebut ditambahkan ke total dan dihitung jumlah pembacaan validnya. Setelah tiga kali pembacaan, fungsi mengembalikan rata-rata jarak yang terukur jika ada data valid, atau mengembalikan nol jika tidak ada pembacaan yang berhasil. Fungsi ini sangat penting dalam mendeteksi keberadaan objek seperti kereta di sistem deteksi otomatis.

```

void checkForLoRaMessage() {
    int rssi = LoRa.packetRssi();
    int packetSize = LoRa.parsePacket();
    if (packetSize == 0) return;

    int recipient = LoRa.read();
    byte sender = LoRa.read();
    byte incomingLength = LoRa.read();
    String Incoming;

    while (LoRa.available()) Incoming += (char)LoRa.read();
    if (incomingLength != Incoming.length() || recipient !=
    LocalAddress) return;
}

```



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
Serial.println("Received: " + Incoming);

if (Incoming == "STOP1") { // STOP 2 untuk detektor 2
  canSend = false;
  stopTime = millis();
  Serial.print("RSSI: ");
  Serial.print(rssi);
  Serial.println(" dBm");
  Serial.println("Modul 1 berhenti mengirim data selama 5
detik.");
}
}
```

Fungsi `checkForLoRaMessage()` bertugas untuk memeriksa apakah ada pesan yang diterima melalui komunikasi LoRa. Pertama, fungsi menyimpan nilai kekuatan sinyal (RSSI) dari paket terakhir menggunakan `LoRa.packetRssi()`, lalu memanggil `LoRa.parsePacket()` untuk memeriksa apakah ada paket yang masuk. Jika tidak ada paket (nilai 0), maka fungsi langsung keluar. Jika ada, data penerima, pengirim, dan panjang isi pesan dibaca. Pesan itu sendiri dikumpulkan dalam string `Incoming`. Fungsi memastikan bahwa panjang pesan sesuai dengan yang dinyatakan dan bahwa pesan tersebut memang ditujukan untuk modul lokal. Jika valid, maka isi pesan ditampilkan di Serial Monitor. Bila pesan yang diterima adalah "STOP1", maka modul menghentikan pengiriman data selama 5 detik dengan mengatur `canSend` menjadi false dan mencatat waktu saat ini ke dalam `stopTime`. Selain itu, nilai kekuatan sinyal (RSSI) dicetak di Serial Monitor sebagai indikator kualitas sinyal LoRa, dan pemberitahuan bahwa modul berhenti mengirim data juga ditampilkan. Fungsi ini berperan penting dalam pengendalian komunikasi antar modul dalam sistem deteksi kereta otomatis.

```
void sendMessage(String Outgoing, byte Destination) {
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.write(Destination);
  LoRa.write(LocalAddress);
  LoRa.write(Outgoing.length());
  LoRa.print(Outgoing);
  LoRa.endPacket();
}
```

Fungsi `sendMessage()` digunakan untuk mengirim pesan melalui modul LoRa. Fungsi ini menerima dua parameter, yaitu `Outgoing` yang berisi isi pesan yang akan dikirim dalam bentuk string, dan `Destination` yang merupakan alamat tujuan dari pesan tersebut. Di dalam fungsi, proses pengiriman diawali dengan `LoRa.beginPacket()` untuk memulai paket data. Kemudian, alamat tujuan (`Destination`), alamat pengirim (`LocalAddress`), dan panjang pesan dikirim terlebih

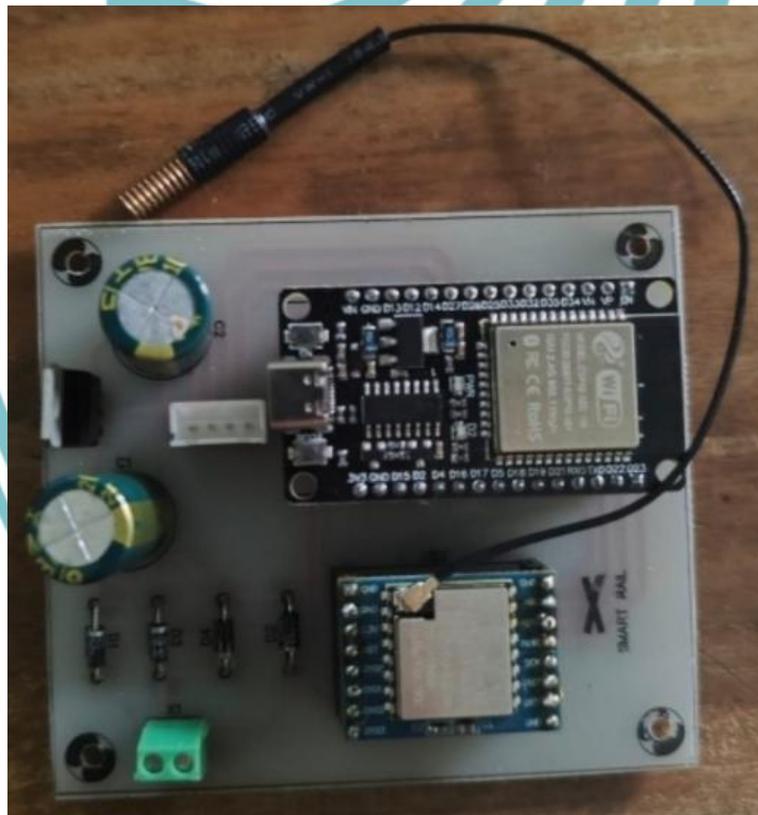


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

dahulu menggunakan `LoRa.write()`, agar penerima dapat memverifikasi dan memproses pesan dengan benar. Setelah itu, isi pesan aktual dikirim menggunakan `LoRa.print(Outgoing)`, lalu proses pengiriman ditutup dengan `LoRa.endPacket()`. Fungsi ini memungkinkan komunikasi antar perangkat LoRa dengan struktur paket yang rapi dan dapat dikenali oleh modul penerima.

3.2.2 Realisasi Power Supply serta Alat Detektor 1 dan 2

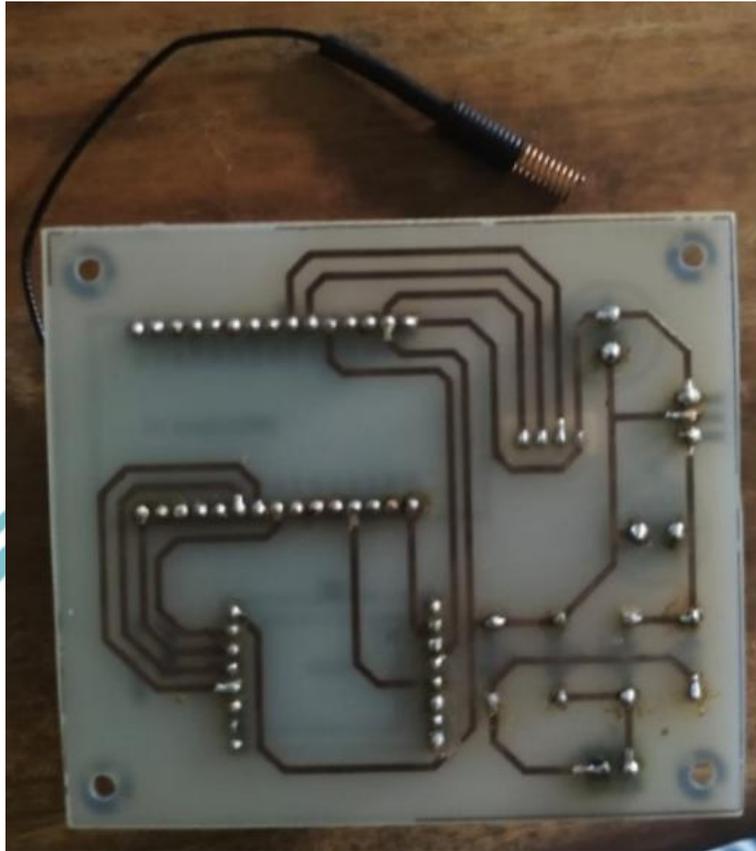
Setelah proses perancangan selesai, penulis melanjutkan ke tahap realisasi fisik PCB untuk power supply dan alat detektor 1 dan 2. Proses ini meliputi pencetakan layout, pengeboran, serta pembersihan papan. Hasil realisasi PCB ditampilkan pada Gambar 3.12 untuk tampak atas dan Gambar 3.13 untuk tampak bawah. Setelah PCB selesai dibuat, seluruh komponen elektronik seperti mikrokontroler, sensor, dan modul komunikasi disolder ke papan rangkaian untuk membentuk sistem elektronik yang siap digunakan dalam pengujian lebih lanjut.



Gambar 3. 12 Tampak Atas PCB

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 13 Tampak bawah PCB

Gambar 3.12 dan Gambar 3.13 menunjukkan realisasi perangkat sistem berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan modul LoRa SX1278 untuk komunikasi nirkabel. Sistem ini didukung dengan sebuah power supply pada papan PCB yang berfungsi menyalurkan daya ke seluruh komponen. Pada papan PCB ini, terdapat dua kapasitor elektrolit yang digunakan untuk menstabilkan tegangan power supply, sehingga modul ESP32 dan LoRa dapat beroperasi dengan daya yang bersih dan bebas dari gangguan tegangan. Perangkat ini dirancang agar Detektor 1 dan Detektor 2 dapat bekerja secara simultan, di mana masing-masing detektor memberikan sinyal input ke mikrokontroler untuk kemudian dianalisis sesuai dengan logika program.

3.2.4 Penggabungan PCB dan Case

Pada penggabungan PCB dan Case komponen utama dari sistem deteksi kereta api yang terdiri dari dua bagian inti. Pertama, terlihat rangkaian power supply yang menggunakan transformator step-down dengan input 220V AC/50Hz dan output 9V DC 1000mA. Power supply ini telah dilengkapi dengan dioda penyearah, kapasitor penyaring, dan regulator tegangan untuk menghasilkan daya yang stabil

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

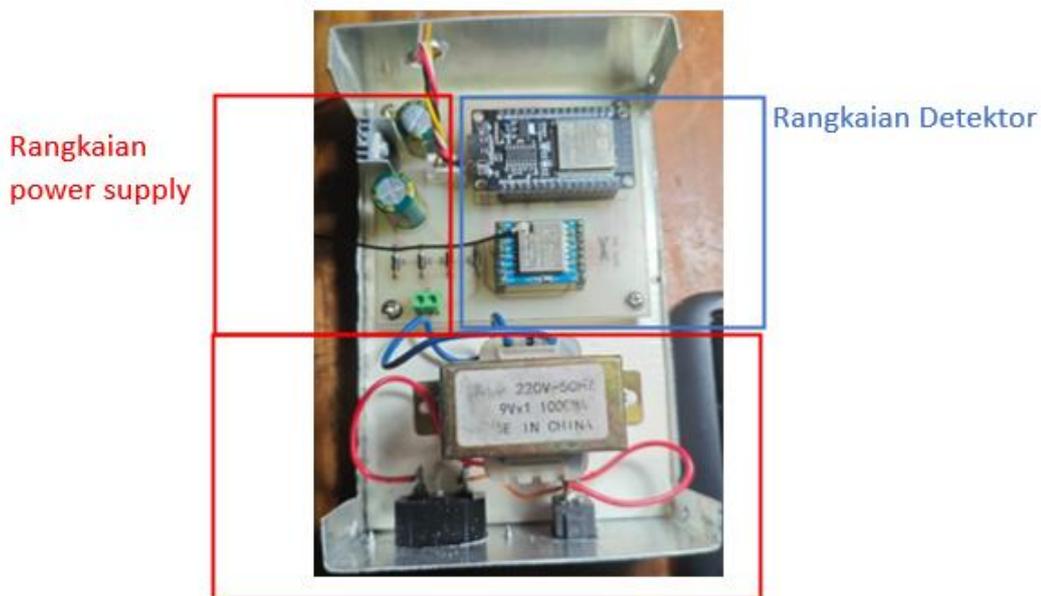
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

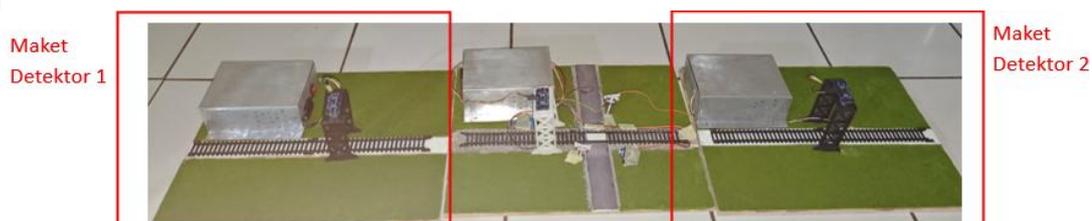
bagi seluruh sistem. Rangkaian detektor utama berupa PCB yang berisi beberapa komponen penting. PCB ini mengintegrasikan sensor deteksi kereta, modul komunikasi LoRa untuk transmisi data nirkabel, mikrokontroler ESP32 sebagai otak pengendali sistem, serta beberapa komponen pendukung seperti tombol reset. Seluruh komponen ini dirangkai dalam sebuah casing pelindung yang terbuat dari bahan aluminium, seperti yang terlihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 14 PCB dan Case yang telah disatukan

3.2.3 Realisasi Case serta maket alat pendeteksi kedatangan kereta api.

Setelah proses perencanaan selesai, penulis melanjutkan dengan merealisasikan pembuatan case dan maket berdasarkan desain yang telah dibuat. Proses ini mencakup pemotongan, perakitan, dan penyusunan bahan seperti aluminium, PVC board, serta miniatur kereta dan rel. Realisasi ini dilakukan dengan memperhatikan dimensi dan bentuk yang sesuai dengan gambar teknik dan desain 3D. Hasil akhir dari case dan maket yang telah dibuat ditampilkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3. 15 bentuk casing dan maket yang telah dirancang

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Power Supply

4.1.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian power supply dilakukan untuk memverifikasi kinerja rangkaian catu daya dalam menghasilkan tegangan dan arus yang stabil sesuai dengan kebutuhan sistem. Rangkaian power supply terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

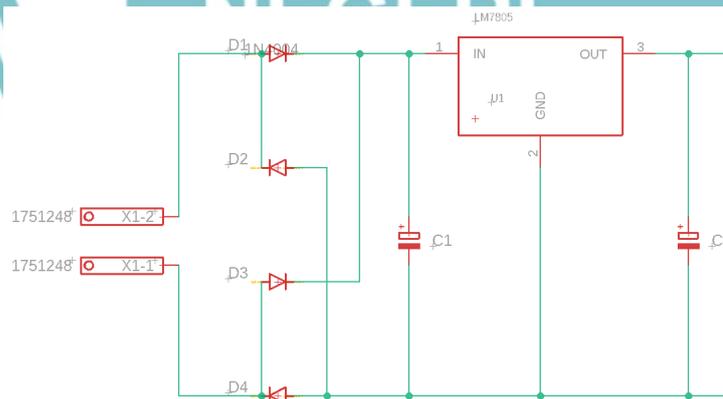
- a Transformator 9V/1A untuk menurunkan tegangan AC input.
- b Dioda bridge sebagai penyearah gelombang penuh (full-wave rectifier) untuk mengubah AC menjadi DC.
- c Kapasitor elektrolit untuk meminimalkan ripple pada tegangan DC.
- d Voltage regulator LM7805 untuk menstabilkan tegangan output pada 5V DC.

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur akurasi tegangan dan arus output, serta memastikan bahwa power supply mampu beroperasi secara optimal dalam mendukung kerja modul detektor.

4.1.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian power supply dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

- a Merangkai komponen power supply sesuai dengan diagram pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Rangkaian skematik Power supply

- b Menghubungkan output power supply ke multimeter untuk mengukur tegangan dan arus.
- c Mengaktifkan rangkaian dan mencatat nilai tegangan (dalam Volt) dan arus (dalam Ampere) yang terbaca pada multimeter.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

d Memastikan pengukuran dilakukan dalam kondisi rangkaian terbebani (connected load) untuk simulasi kondisi nyata.

4.1.3 Data Hasil Pengujian

Tabel 4. 1 Hasil pengukuran Power supply

No.	Keterangan	Hasil Multimeter
1.	Arus yang dihasilkan Power supply	0.31 A
2.	Tegangan yang dihasilkan Power supply	4.91 V
3.	Tegangan Output Trafo	11.1 V
4.	Tegangan Input ESP32	4.91 V
5.	Tegangan Input HC-SR04	4.91 V
6.	Tegangan Input LoRa	3.24 V

4.1.4 Analisis Data / Evaluasi

a Tegangan Output Transformator dan output Power Supply

Transformator menghasilkan tegangan 10.9 V setelah penurunan dari tegangan AC input. Nilai ini sesuai dengan spesifikasi transformator 9V/1A, dengan sedikit variasi akibat karakteristik beban atau pengukuran. Tegangan yang dihasilkan oleh power supply adalah 4.96 V, mendekati nilai yang diharapkan yaitu 5 V. Hal ini menunjukkan bahwa voltage regulator LM7805 berfungsi dengan baik dalam menstabilkan tegangan output. Selisih 0.04 V termasuk dalam toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi modul detektor.

b Arus Output Power Supply

Arus yang dihasilkan adalah 0.31 A, yang memenuhi kebutuhan sistem karena masih di bawah kapasitas maksimal transformator (1 A).

c Tegangan Input Modul

ESP32 dan HC-SR04 menerima tegangan 4.96 V, sesuai dengan kebutuhan kerja modul tersebut. LoRa menerima tegangan 3.26 V, yang mungkin memerlukan regulator tambahan atau penyesuaian jika spesifikasi modul membutuhkan tegangan tepat 3.3 V.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2 Pengujian antenna LoRa menggunakan VNA

4.2.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian antenna LoRa menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) dilakukan untuk mengukur parameter kinerja antenna, seperti Return Loss, Impedansi, dan VSWR (Voltage Standing Wave Ratio). Karena antenna LoRa asli menggunakan konektor IPEX female yang tidak kompatibel langsung dengan VNA, penulis melakukan modifikasi dengan melepas antenna Helix dari konektor IPEX dan menyolder ulang ke konektor SMA male agar dapat terhubung ke VNA. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kesesuaian impedansi dan efisiensi antenna pada frekuensi operasi LoRa.

4.2.2 Prosedur pengujian

1. Melepaskan antenna Helix dari konektor IPEX female.
2. Solder antenna ke konektor SMA male, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2
3. Melakukan kalibrasi VNA menggunakan standar Open, Short, Load, dan Thru pada port yang digunakan.
4. Mengatur rentang frekuensi VNA sesuai frekuensi operasi LoRa.
5. Menyambungkan antenna yang telah dimodifikasi ke port VNA.
6. Mengukur dan mencatat nilai Return Loss (S11), Impedansi (Z), dan VSWR pada frekuensi target.
7. Jika hasil tidak optimal, periksa kembali sambungan solder atau pertimbangkan penggunaan matching network.



Gambar 4. 2 Antena LoRa yang tersambung konektor LoRa



4.2.3 Data Hasil Pengujian

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Antena LoRa

No.	Antena	Parameter	Hasil
1.		VSWR	18.11
2.	Antena LoRa ra1278	Return Loss	-1.0896 dB
3.		Impedansi	8.6404 Ω

4.2.4 Analisis Data / Evaluasi

1. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) = 18.11, Nilai VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) yang ideal adalah 1, yang berarti tidak ada gelombang yang dipantulkan kembali karena terdapat kesesuaian impedansi sempurna antara antena dan saluran transmisinya.
2. Return Loss = -1.0896 dB, Return Loss yang baik umumnya memiliki nilai yang lebih negatif, misalnya -10 dB atau lebih, karena hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar daya ditransmisikan ke antena dengan refleksi yang sangat minimal.
3. Impedansi = 8.6404 Ω , Impedansi antena yang ideal untuk sistem LoRa umumnya mendekati 50 Ω , sesuai dengan standar impedansi saluran transmisi agar daya dapat ditransmisikan secara maksimal tanpa pantulan.

4.3 Pengujian pengaruh jarak terhadap packet loss, nilai RSSI dan SNR

4.3.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian pengaruh jarak terhadap packet loss, nilai RSSI, dan nilai SNR dilakukan dengan menempatkan modul 1 (detektor 1) dan modul 3 (detektor 2) pada lokasi yang sama, sedangkan modul 2 (perlintasan) diletakkan pada lokasi yang berbeda dengan variasi jarak tertentu. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis performansi komunikasi LoRa dalam berbagai kondisi lingkungan dan jarak transmisi. Pengujian dilakukan pada empat kondisi berbeda untuk mengevaluasi kekuatan sinyal LoRa:

- a. Kondisi NLOS pertama: Pengujian dilakukan di daerah hutan Universitas Indonesia dengan obstacle berupa pepohonan, kendaraan bermotor, dan mobil yang melintas lokasi pengujian dapat terlihat pada Gambar 4.3.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

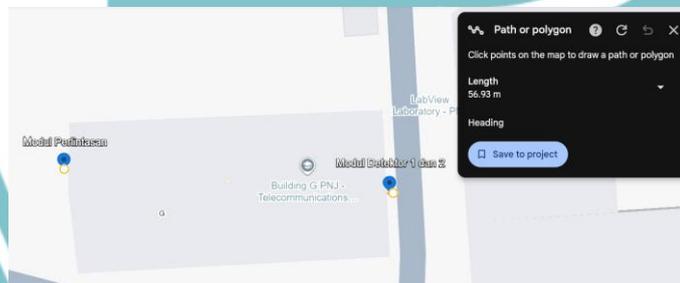
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

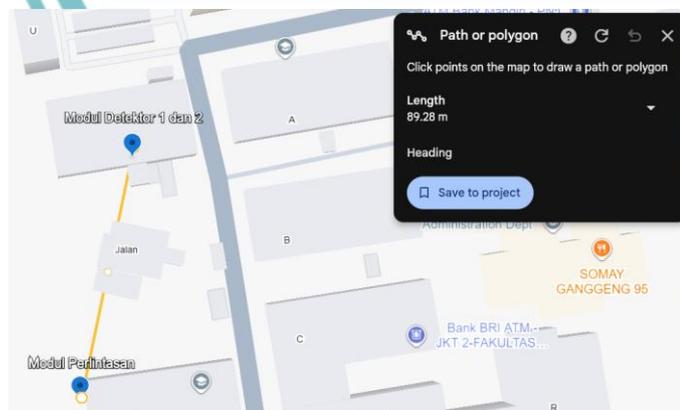
- b. Kondisi NLOS kedua: Pengujian dilaksanakan di laboratorium telekomunikasi dengan obstacle berupa dinding, kaca, dan aktivitas manusia lokasi pengujian dapat terlihat pada Gambar 4.4.
- c. Kondisi NLOS ketiga: Pengujian dilakukan antara laboratorium telekomunikasi dan gedung D, dengan perpindahan posisi dari lantai 1 hingga lantai 3 untuk menganalisis pengaruh ketinggian dan jarak vertikal lokasi pengujian dapat terlihat pada Gambar 4.5.
- d. Kondisi LOS: Pengujian dilakukan di area terbuka hutan UI tanpa adanya obstacle yang signifikan untuk mendapatkan kondisi line of sight yang optimal lokasi pengujian dapat terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 3 pengujian NLOS pada daerah pepohonan



Gambar 4. 4 pengujian NLOS di Lab. Telekom



Gambar 4. 5 pengujian NLOS di Lab. Telekom sampai Ged. D



Gambar 4. 6 pengujian LOS di hutan UI

4.3.2 Prosedur Pengujian

Pertama Setup awal yaitu Detektor 1 dan detektor 2 ditempatkan pada lokasi yang sama, sedangkan modul perlintasan diposisikan pada lokasi yang berbeda sesuai dengan variasi jarak yang telah ditentukan. Kemudian Konfigurasi sistem yang digunakan adalah menggunakan skenario simulasi kereta yang melewati detektor 1 terlebih dahulu, kemudian menuju perlintasan, lalu berakhir di detektor 2. Proses komunikasi yang digunakan adalah ketika kereta melewati detektor 1, detektor 1 mengirimkan pesan "D1" ke modul perlintasan, setelah menerima pesan dari detektor 1, perlintasan mengirimkan pesan "STOP2" ke detektor 2

4.3.3 Data Hasil Pengujian

Tabel 4. 3 NLOS hutan UI

No.	Jarak (M)	RSSI (dBm)		SNR (dBm)		Dikirim dan diterima	Packet Loss (%)
		Nilai	Indeks	Nilai	Indeks		
1.	20	-85	Sangat Baik	4	Sangat Baik	5/5	0
2.	40	-77	Sangat Baik	7.75	Sangat Baik	5/5	0
3.	60	-78	Sangat Baik	8.5	Sangat Baik	5/5	0
4.	80	-90	Sangat Baik	-4.75	Sangat Baik	3/5	40
5.	100	-90	Sangat Baik	-8.5	Cukup	4/5	20
6.	120	-91	Sangat Baik	-4	Sangat Baik	3/5	40
7.	140	-91	Sangat Baik	-3.50	Sangat Baik	1/5	80
8.	160	-	-	-	-	0/5	100
9.	180	-	-	-	-	0/5	100
10.	200	-	-	-	-	0/5	100



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 4 NLOS Lab dan gedung D

No.	Tempat	RSSI (dBm)		SNR (dBm)		Dikirim dan diterima	Packet Loss (%)
		Nilai	Indeks	Nilai	Indeks		
1.	Depan Lab – Belakang Lab	-	-	-	-	0/5	100
2.	Belakang Lab – Ged. D lt.1	-87	Sangat Baik	-6.75	Sangat Baik	3/5	40
3.	Belakang Lab – Ged. D lt.2	-	-	-	-	0/5	100
4.	Belakang Lab – Ged. D lt.3	-89	Sangat Baik	-0.25	Sangat Baik	1/5	80

Tabel 4. 5 LOS Hutan UI

No.	Jarak (M)	RSSI (dBm)		SNR (dBm)		Dikirim dan diterima	Packet Loss (%)
		Nilai	Indeks	Nilai	Indeks		
1.	20	-89	Sangat Baik	2.75	Sangat Baik	5/5	0
2.	40	-91	Sangat Baik	-6	Sangat Baik	5/5	0
3.	60	-92	Sangat Baik	-5.75	Sangat Baik	5/5	0
4.	80	-92	Sangat Baik	-6.5	Sangat Baik	4/5	20
5.	100	-94	Sangat Baik	-7.5	Cukup	4/5	20
6.	120	-91	Sangat Baik	-1.75	Sangat Baik	4/5	20
7.	140	-94	Sangat Baik	-7.75	Cukup	3/5	40
8.	160	-91	Sangat Baik	-9.25	Cukup	3/5	40
9.	180	-88	Sangat Baik	-9.25	Cukup	1/5	80
10.	200	-	-	-	-	0/5	100

4.3.4 Analisis Data / Evaluasi

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada tiga kondisi berbeda, diperoleh beberapa temuan penting terkait performansi komunikasi LoRa SX1278. Analisis menunjukkan bahwa modul LoRa SX1278 memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap keberadaan obstacle dalam jalur transmisi.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

a Kondisi NLOS Hutan UI

Pada pengujian kondisi NLOS pertama di area hutan Universitas Indonesia seperti pada Tabel 4.2, komunikasi antara modul perlintasan dan detektor 2 mengalami kegagalan total pada jarak lebih dari 160 meter. Hal ini disebabkan oleh adanya obstacle berupa pepohonan yang menghalangi propagasi sinyal LoRa. Pada jarak 140 meter, packet loss mencapai 80% dengan nilai RSSI -91 dBm dan SNR -3.50 dBm, menunjukkan degradasi kualitas sinyal yang signifikan akibat multipath fading dan shadowing yang diakibatkan oleh vegetasi.

b Kondisi NLOS Lab dan Gedung D

Pengujian kondisi NLOS kedua antara laboratorium telekomunikasi dan gedung D, pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil yang bervariasi tergantung pada ketinggian dan konfigurasi ruangan. Pada lantai 2, komunikasi mengalami kegagalan total karena terhalang oleh struktur bangunan yang padat dan tidak adanya ruang bebas (free space) yang memadai untuk propagasi sinyal. Namun, pada lantai 1 dan lantai 3, komunikasi masih dapat terjadi meskipun dengan packet loss yang tinggi (40% dan 80%). Perbedaan ini mengindikasikan pengaruh signifikan dari Fresnel zone dan difraksi sinyal pada lingkungan indoor.

c Kondisi LOS Hutan UI

Pengujian kondisi Line of Sight (LOS) di area terbuka hutan UI pada Tabel 4.4 menunjukkan performansi yang lebih baik dibandingkan kondisi NLOS. Komunikasi dapat berlangsung hingga jarak 180 meter dengan packet loss 80%, namun mengalami kegagalan total pada jarak 200 meter. Nilai RSSI berkisar antara -88 dBm hingga -94 dBm, dengan SNR yang relatif stabil antara -9.25 dBm hingga 2.75 dBm.

d Variasi Nilai RSSI dan SNR

Perbedaan nilai RSSI dan SNR yang terdeteksi antara detektor 2 dan perlintasan pada semua pengujian disebabkan oleh beberapa faktor teknis. Pertama, orientasi antena yang tidak selalu saling berhadapan mengakibatkan polarization mismatch yang mempengaruhi kualitas penerimaan sinyal. Kedua, terdapat perbedaan ukuran payload antara pesan "D1" (dari detektor 1 ke perlintasan) dan pesan "STOP2" (dari perlintasan ke detektor 2). Pesan "STOP2" memiliki ukuran data yang lebih besar,



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

sehingga memerlukan waktu transmisi yang lebih lama dan lebih rentan terhadap interferensi serta noise.

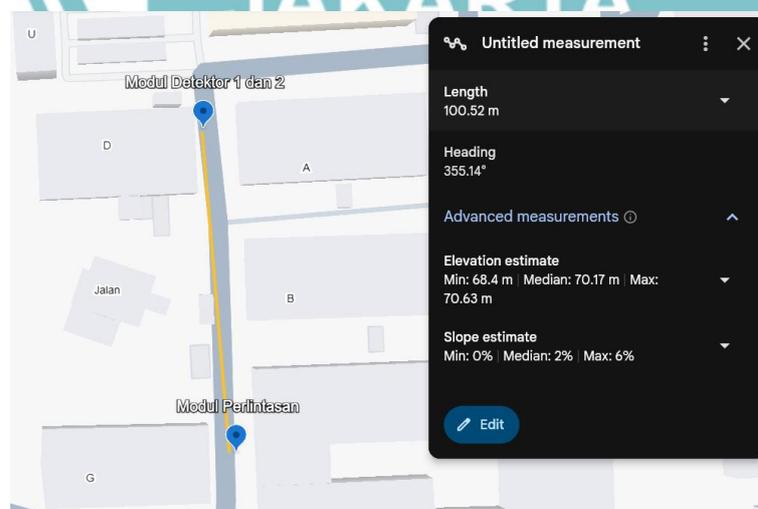
e Evaluasi

Untuk meningkatkan efektivitas sistem komunikasi LoRa, diperlukan optimasi pada protokol pengiriman pesan. Pengurangan ukuran payload pada komunikasi dari perlintasan ke detektor 2 dapat meningkatkan reliabilitas transmisi. Selain itu, implementasi teknik diversity antenna dan penggunaan algoritma adaptive data rate dapat membantu mengatasi variasi kondisi propagasi yang terjadi pada lingkungan operasional.

4.4 Pengujian pengaruh jarak terhadap waktu terima data

4.4.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian pengaruh jarak terhadap waktu transmisi data dilakukan dengan menggunakan tiga modul LoRa yang terdiri atas detektor 1 dan perlintasan. Modul 1 ditempatkan pada posisi yang tetap, sedangkan Modul 2 diposisikan dengan variasi jarak tertentu untuk menguji performa komunikasi LoRa. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menganalisis keterandalan dan kecepatan transmisi data pada berbagai jarak dalam kondisi Line of Sight (LOS). Pengujian dilaksanakan di area depan Gedung G atau Laboratorium Telekomunikasi yang memiliki lingkungan terbuka, sehingga memastikan kondisi LOS yang optimal. Parameter yang diamati yaitu waktu transmisi end-to-end, Kondisi pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Lokasi pengujian

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



4.4.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dimulai dengan menyiapkan modul Detektor 1 dan Detektor 2 pada lokasi yang sama, sementara modul perlintasan ditempatkan pada berbagai jarak yang telah ditentukan untuk menguji pengaruh jarak terhadap kinerja sistem. Dalam skenario simulasi ini, kereta pertama kali melewati Detektor 1 yang kemudian mengirimkan pesan "D1" ke modul perlintasan. Setelah menerima pesan tersebut, modul perlintasan akan mengirimkan pesan "STOP2" ke Detektor 2. Untuk memperoleh data yang akurat, kemudian pada arduino IDE aktifkan fitur timestamp supaya menampilkan waktu setiap mengirim dan menerima pada serial monitor.

4.4.3 Data Hasil Pengujian

Tabel 4. 6 Hasil pengujian pengaruh jarak terhadap waktu terima data

No.	Jarak (M)	Pengirim	Penerima
1	20	15:12:34.037	15:12:33.785
2		15:12:37.952	15:12:37.738
3		15:12:41.322	15:12:41.074
4		15:12:44.060	15:12:43.801
5		15:12:47.083	15:12:46.851
6	40	15:10:10.316	15:10:10.080
7		15:10:14.727	15:10:14.511
8		15:10:19.259	15:10:18.982
9		15:10:22.803	15:10:22.549
10		15:10:27.701	15:10:27.447
11	60	15:08:44.872	15:08:44.632
12		15:08:49.801	15:08:49.548
13		15:08:55.830	15:08:55.611
14		15:08:59.827	15:08:59.556
15		15:09:04.932	15:09:04.691
16	80	15:06:10.887	15:06:10.626
17		15:06:17.900	15:06:17.647
18		15:06:24.616	15:06:24.351
19		15:06:28.739	15:06:28.495
20		15:06:33.278	15:06:33.001
21	100	15:03:53.283	15:03:53.035
22		15:04:30.174	15:04:29.898
23		15:04:41.425	15:04:41.164
24		15:04:48.073	15:04:47.835
25		15:04:54.134	15:04:53.871

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.4 Analisis Data / Evaluasi

1. Analisis Latensi Komunikasi, Data pengujian menunjukkan karakteristik latensi yang stabil pada berbagai jarak pengujian. Selisih waktu antara pengiriman dan penerimaan sinyal berkisar antara 214-277 ms, dengan rata-rata sekitar 240-260 ms. Pola yang menarik adalah tidak adanya peningkatan latensi yang signifikan seiring bertambahnya jarak dari 20 hingga 100 meter. Latensi terendah tercatat sebesar 214 ms pada jarak 20 meter, sementara latensi tertinggi mencapai 277 ms terjadi pada jarak 40 dan 80 meter. Fenomena ini mengindikasikan bahwa komunikasi LoRa dalam pengujian ini memiliki stabilitas yang baik terhadap variasi jarak. Faktor utama penyebab latensi meliputi waktu pemrosesan sinyal di modul penerima, delay antarmuka serial, dan waktu propagasi sinyal radio yang sebenarnya memberikan kontribusi paling kecil.
2. Anomali Timestamp Penerimaan, Terdapat kegagalan pada beberapa data dimana timestamp penerimaan tercatat lebih awal daripada timestamp pengiriman, seperti pada kasus baris pertama dimana pengiriman di 15:12:34.037 tetapi penerimaan di 15:12:33.785. Anomali ini terutama disebabkan oleh ketidaksesuaian sinkronisasi. Faktor lain yang berperan adalah cara sistem mencatat timestamp - penerima mencatat saat sinyal mulai diproses, bukan saat transmisi benar-benar selesai. Variasi waktu eksekusi kode pada antarmuka serial juga turut berkontribusi terhadap fenomena ini.

4.5 Pengujian Sensor Jarak (HC-SR04)

4.5.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian sensor jarak HC-SR04 dilakukan untuk mengukur ketepatan dan ketelitian sensor dalam mendeteksi objek pada berbagai jarak. Sensor ini terpasang pada alat detektor dan diuji menggunakan penggaris sebagai acuan jarak. Pengujian dilaksanakan dalam dua tahap:

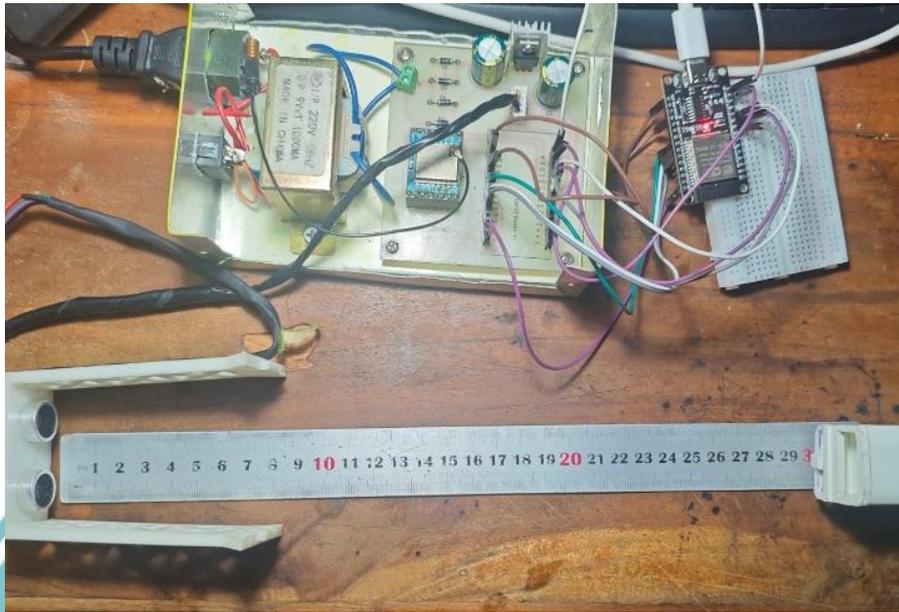
- a. Pengukuran Jarak: Hasil pembacaan sensor ditampilkan pada serial monitor untuk dianalisis ketepatannya.
- b. Implementasi pada Alat: Sensor diprogram untuk mengaktifkan modul LoRa ketika mendeteksi objek pada jarak kurang dari 5 cm. Serial monitor akan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menampilkan pesan “Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke modul 2”. Posisi sensor dan alat mengikuti Gambar 4.8 untuk memastikan konsistensi pengujian.



Gambar 4. 8 Penempatan HC-SR04 dan Detektor

4.5.2 Prosedur Pengujian

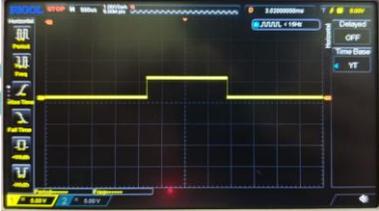
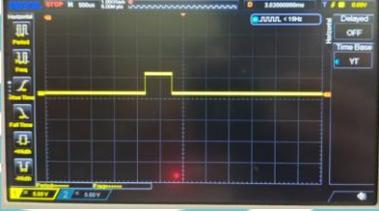
Prosedur pengujian dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- a. Memisahkan modul ESP32 dari PCB dan menyambungkannya ke protoboard untuk memudahkan proses pengujian.
- b. Menghubungkan ESP32 ke laptop menggunakan kabel USB type-C untuk memantau output melalui Serial Monitor pada Arduino IDE atau platform pemrograman lainnya.
- c. Menempatkan sensor HC-SR04 sesuai dengan posisi yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 agar hasil pengujian konsisten dan dapat direplikasi.
- d. Mengubah jarak objek secara bertahap pada posisi 30 cm, 20 cm, 10 cm, 5 cm, 2 cm, dan 1 cm, lalu mendokumentasikan hasil pembacaan jarak pada Serial Monitor untuk analisis lebih lanjut.
- e. Melakukan pengecekan sinyal PWM pada pin ECHO sensor HC-SR04 dengan menggunakan osiloskop atau logic analyzer. Sinyal PWM ini diperiksa untuk memastikan bahwa durasi pulsa sesuai dengan jarak objek yang terukur, di mana lebar pulsa merepresentasikan waktu pantulan gelombang ultrasonik. Hasil pengukuran PWM kemudian dicatat untuk verifikasi kesesuaian data dengan output pada Serial Monitor.



4.5.3 Data Hasil Pengujian

Tabel 4. 7 Pengujian Jarak HC-SR04

No.	Jarak (cm)	Hasil Serial Monitor (cm)	Bentuk sinyal pada osiloskop	Lebar pulsa (ms)
1	30	30.31		~1.75
2	20	20.45		~1.15
3	10	10.69		~0.65
4	5	5.02		~0.35
5	2	2.10		~0.15
6	1	3.06		~0.13

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan satu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 8 Impelementasi sensor HC-SR04 pada alat

No.	Jarak	Hasil Serial Monitor
1	30 cm	-
2	20 cm	-
3	10 cm	-
4	6 cm	-
5	4 cm	Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke modul 2
6	1 cm	Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke modul 2

4.5.4 Analisa Data / Evaluasi

1. Akurasi Pengukuran, sensor ultrasonik menunjukkan akurasi yang cukup baik untuk jarak antara 2 cm hingga 30 cm. Nilai yang terbaca pada serial monitor mendekati nilai aktual, dengan selisih yang relatif kecil. Namun, pada jarak 1 cm, terjadi penyimpangan yang signifikan di mana nilai terbaca adalah 3.06 cm. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mungkin kurang akurat pada jarak sangat dekat.
2. Hubungan Lebar Pulsa dan Jarak. Lebar pulsa yang diukur pada osiloskop menunjukkan penurunan seiring dengan berkurangnya jarak. Misalnya, pada jarak 30 cm, lebar pulsa sekitar 1.75 ms, sedangkan pada jarak 2 cm, lebar pulsa turun menjadi 0.15 ms. Hubungan ini sesuai dengan prinsip kerja sensor ultrasonik di mana lebar pulsa berkorelasi dengan waktu tempuh gelombang ultrasonik. Namun, pada jarak 1 cm, lebar pulsa tidak mengikuti tren ini (0.13 ms), yang mungkin disebabkan oleh keterbatasan sensor dalam mendeteksi jarak sangat pendek.
3. Anomali pada Jarak 1 cm, Hasil pengukuran pada jarak 1 cm mencolok karena nilai yang terbaca (3.06 cm) jauh dari nilai aktual dan lebar pulsanya tidak konsisten dengan pola yang ada. Anomali ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti refleksi gelombang ultrasonik yang tidak stabil pada jarak dekat.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.6 Pengujian modul Detektor 1, Detektor 2 dan Perlintasan

4.6.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian modul detektor 1, detektor 2, dan perlintasan bertujuan untuk memverifikasi fungsi seluruh modul, termasuk kemampuan deteksi objek, komunikasi antar-modul, serta ketiadaan error atau bug selama operasi. Modul ditempatkan secara sejajar dan berdekatan sesuai dengan konfigurasi pada Gambar 4.9. Pengujian dilakukan dengan dua skenario:



Gambar 4. 9 Konfigurasi Pengujian

- a. Skenario 1: Kereta melintasi detektor 1 terlebih dahulu, kemudian menuju perlintasan, dan berakhir di detektor 2.
- b. Skenario 2: Kereta melintasi detektor 2 terlebih dahulu, lalu menuju perlintasan, dan berakhir di detektor 1.

Kedua skenario dirancang untuk menguji respons sistem terhadap arah pergerakan kereta yang berbeda, sekaligus memvalidasi konsistensi komunikasi data melalui serial monitor.

4.6.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Skenario 1 (Detektor 1 → Perlintasan → Detektor 2), Kereta diarahkan untuk melintasi detektor 1 terlebih dahulu, kemudian data respons dari detektor 1 dan pesan yang dikirim ke modul perlintasan (modul 2) dicatat melalui serial monitor, selanjutnya kereta melanjutkan pergerakan menuju detektor 2, dan respons detektor 2 serta pesan yang diterima dari modul perlintasan diverifikasi.
- b. Skenario 2 (Detektor 2 → Perlintasan → Detektor 1), Kereta diarahkan untuk melintasi detektor 2 terlebih dahulu, kemudian data respons detektor 2 dan komunikasi dengan modul perlintasan dipantau melalui serial monitor, Selanjutnya kereta bergerak menuju detektor 1, dan respons detektor 1 serta pesan dari modul perlintasan dianalisis.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.6.3 Data Hasil Pengujian

a. Pengujian Skenario 1 (Detektor 1 – Perlintasan – Detektor 2)

Serial Monitor Detektor 1

```
Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke Modul 2.
Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke Modul 2.
Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke Modul 2.
```

Gambar 4. 10 Serial Monitor Detektor 1

Serial Monitor Detektor 2

```
Received: STOP2
RSSI: -39 dBm
SNR: 9.50 dB
Modul 3 berhenti mengirim data selama 5 detik.
Modul 3 kembali aktif mengirim.
```

Gambar 4. 11 Serial Monitor Detektor 2

b. Pengujian Skenario 2 (Detektor 2 – Perlintasan – Detektor 1)

Serial Monitor Detektor 2

```
Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke Modul 2.
Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke Modul 2.
Kereta terdeteksi, mengirim pesan ke Modul 2.
```

Gambar 4. 12 Serial Monitor Detektor 2

Serial Monitor Detektor 1

```
Received: STOP1
RSSI: -44 dBm
SNR: 9.00 dB
Modul 3 berhenti mengirim data selama 5 detik.
Modul 3 kembali aktif mengirim.
```

Gambar 4. 13 Serial Monitor Detektor 1

4.6.4 Analisis Data / Evaluasi

Berdasarkan hasil pengujian skenario 1 (Detektor 1 – Perlintasan – Detektor 2) dan skenario 2 (Detektor 2 – Perlintasan – Detektor 1), dapat disimpulkan bahwa modul detektor 1 dan detektor 2 berfungsi dengan baik. Hal ini dibuktikan melalui Gambar 4.9 dan Gambar 4.11 yang menunjukkan bahwa detektor mampu mendeteksi objek dan mengirim pesan ke modul 2 (perlintasan). Selanjutnya, pada Gambar 4.10 dan 4.12 terlihat bahwa detektor menerima pesan dari modul 2 sesuai dengan program yang dibuat.