

Perancangan dan Implementasi Modul Pelacak Lokasi Menggunakan STM32WLE5JC dan QUECTEL L86-M33

1st Yusa Bilad Al-Faz
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

yusabiladalfaz@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Nina Hendrarini
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ninahendrarini@telkomuniversity.ac.id

3rd Ema
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

emacdef@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Proyek ini melibatkan perancangan dan implementasi modul pelacak lokasi menggunakan STM32WLE5JC dan Quectel L86-M33, dengan fokus pada penerapan teknologi LoRaWAN untuk pengiriman data pelacakan. Penulis bertanggung jawab dalam merancang desain PCB yang mengintegrasikan modul LoRa-E5 dan Quectel L86-M33, serta melakukan konfigurasi dan pengujian terhadap gateway LoRaWAN dan platform ChirpStack. Pengujian dilakukan untuk memastikan stabilitas komunikasi dan keakuratan data pelacakan, termasuk uji jangkauan sinyal dan integrasi platform. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini mampu menyediakan pelacakan lokasi yang handal dan efisien, bahkan di area dengan konektivitas terbatas.

Kata Kunci— LoRaWAN, GPS Tracker, STM32WLE5JC, Quectel L86-M33, Desain PCB, ChirpStack

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di era modern ini, teknologi berkembang dengan sangat pesat. Sehingga, mengharuskan perusahaan-perusahaan berlomba untuk mengikuti perkembangan zaman ini agar dapat bersaing dengan perusahaan lain dan tidak tertinggal dengan zaman yang dapat berdampak buruk bagi perusahaan. Salah satu teknologi yang digunakan pada era ini adalah GPS tracker, yang merupakan perangkat elektronik yang menggunakan *Global Positioning System (GPS)* untuk melacak sebuah barang, alat transportasi, dll[1]. Untuk mentransmisikan data GPS Tracker, dapat menggunakan berbagai jenis jaringan. Salah satunya adalah menggunakan protokol LoRaWAN, LoRaWAN merupakan protokol komunikasi nirkabel yang digunakan untuk mentransmisikan data ke jaringan yang lebih besar seperti internet melalui frekuensi radio. Konsumsi daya yang rendah, sehingga dapat beroperasi dalam waktu yang cukup lama. Dengan adanya teknologi ini, sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan pelacakan lokasi yang luas, seperti dalam IoT untuk manajemen armada, pelacakan logistik, dan pengelolaan aset[2].

PT. Indo Trans Teknologi merupakan Perusahaan yang menyediakan layanan untuk mengoptimalkan operasi

armada, dengan tujuan untuk mengurangi biaya, meningkatkan efisiensi, dan memaksimalkan produktivitas armada. Salah satu layanan yang tersedia di Perusahaan ini adalah pelacak GPS dengan pengiriman data menggunakan protokol GSM. *GSM (Global System for Mobile Communications)* merupakan jaringan seluler digital yang banyak digunakan oleh pengguna telepon seluler di berbagai dunia untuk komunikasi seluler, termasuk panggilan suara dan pesan teks(SMS)[2]. GSM memerlukan akses internet untuk mengakses web. Saat ini, *client* menginginkan pelacak GPS di wilayah pertambangan. Sedangkan di wilayah tersebut, tidak dapat mengakses jaringan internet dengan baik. Dan juga, tidak sesuai dengan layanan pelacak berbasis GSM yang tersedia oleh Perusahaan.

Dengan permasalahan ini, PT. Indo Trans Teknologi memberikan solusi kepada staff Perusahaannya untuk melakukan penelitian menggunakan modul LoRa-E5 yang merupakan modul LoRaWAN berdaya rendah, biaya yang terjangkau dan berukuran kecil yang dirancang oleh Seeed Technology Co., Ltd. Modul ini menggunakan chip STM32WLE5JC yang merupakan perangkat *wireless* jarak jauh dan *ultra-low-power* dari STM32. Perangkat ini memiliki radio yang *compatible* dengan LPWAN yang kuat dan hemat daya, yang memungkinkan berbagai modulasi sinyal, salah satunya termasuk LoRa®[3]. Dan menggunakan modul Quectel L86-M33 yang sudah dirancang untuk memberikan informasi lokasi yang akurat dan dapat diandalkan dengan menggunakan sinyal dari sistem navigasi satelit.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat dirumuskan masalah yang dapat diteliti untuk ke depannya adalah:

1. Penggunaan aplikasi GSM untuk melacak objek, terutama di area pertambangan dapat meningkatkan biaya operasional karena komunikasi data yang mahal dan konsumsi daya perangkat GPS tracker yang tinggi. Solusi yang dapat mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan jaringan LoRaWAN yang lebih hemat biaya, serta merancang perangkat GPS tracker yang

hemat energi untuk memperpanjang masa pakai baterai dan dapat menurunkan biaya operasional.

2. Teknologi LoRaWAN memiliki jangkauan luas, namun terkadang terdapat kendala konektivitas di lokasi yang jauh dari gateway. Memasang gateway tambahan dapat menjadi solusi untuk memastikan perangkat tetap terhubung dan berfungsi dengan baik.
3. Perancangan modul LoRa-E5 dan Quectel L86-M33 memerlukan analisis spesifikasi teknis yang mendalam untuk meminimalkan risiko masalah pengembangan.

C. Tujuan

Tujuan dari pembuatan proyek ini adalah :

1. Membuat desain PCB menggunakan modul LoRa-e5 mini dan Quectel L86-M33 secara *onboard*.
2. Memastikan konsumsi daya yang rendah.
3. Menguji pengiriman data pelacakan lokasi secara *real-time* dan akurat.
4. Mengidentifikasi dan mengatasi kendala-kendala yang mungkin muncul dalam penggunaan teknologi ini, terutama dalam jangkauan sinyal dan pengiriman data.

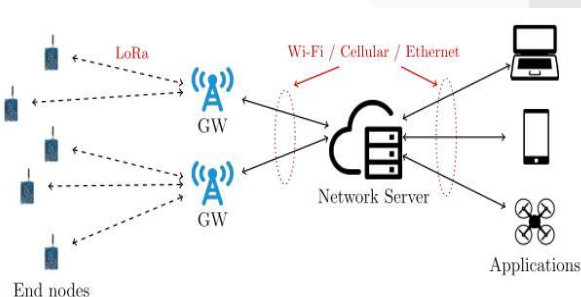
II. KAJIAN TEORI

A. LoRa

LoRa adalah teknik modulasi nirkabel yang dikembangkan oleh Semtech Corporation[4]. Teknik ini menggunakan modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS) yang memungkinkan pengiriman data dalam jarak yang sangat jauh dengan konsumsi daya yang rendah. LoRa dapat beroperasi pada frekuensi sub-GHz yang tidak berlisensi, seperti 868 MHz di Eropa dan 915 MHz di Amerika Utara. LoRa dapat mencapai jarak sejauh 15 KM di daerah pedesaan dan beberapa kilometer di daerah perkotaan yang disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah dikarenakan bangunan yang padat dan tinggi sehingga dapat mempengaruhi jarak transmisi.

B. LoRaWAN

LoRaWAN adalah protokol jaringan yang dibangun di atas teknologi LoRa, yang mengatur komunikasi antara perangkat LoRa dan gateway. Protokol LoRaWAN dikembangkan dan dikelola oleh LoRa Alliance, sebuah nir laba yang bertujuan untuk mempromosikan standar ini[5]. Berikut adalah gambar arsitektur LoRaWAN :



GAMBAR 1
Arsitektur LoRaWAN

Dimulai dari *End-nodes* yang merupakan perangkat akhir yang mentransmisi data kemudian diterima oleh gateway dan dikirim ke server jaringan. Server jaringan akan mengelola komunikasi antara gateway dengan server aplikasi.

Kemudian, server aplikasi akan memproses data yang diterima dari server jaringan.

C. LoRa-E5



GAMBAR 2
LoRa-E5 Mini

Wio-E5 mini merupakan papan pengembangan berbasis teknologi LoRa yang diproduksi oleh Seeed Studio. Modul ini menggunakan chip LoRaWAN STM32WLE5JC, yang menggabungkan mikroprosesor ARM Cortex-M4 dan *transceiver* radio sub-GHz LoRa[6]. Wio-E5 mini dirancang untuk aplikasi IoT yang memerlukan komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah. Modul ini mendukung berbagai frekuensi LoRa di seluruh dunia, termasuk 868 MHz dan 916 MHz. Selain itu, Wio-E5 memiliki bentuk yang kecil dan mendukung antarmuka serial untuk konektivitas yang mudah dengan perangkat lain. Fitur penting lainnya adalah sensitivitas yang tinggi, jangkauan transmisi yang luas, dan kemampuan untuk beroperasi dalam lingkungan dengan interferensi tinggi.

D. Quectel L86-M33



GAMBAR 3
Quectel L86-M33

L86 merupakan modul GNSS dengan desain *patch* antena bagian atasnya. Modul ini dirancang agar sesuai dengan modul Quectel L80 untuk menyediakan platform yang fleksibel dan terukur untuk migrasi dari GPS ke GNSS. Dengan gabungan antara modul GNSS dan modul Quectel L80 ini, modul yang merupakan generasi baru ini memiliki kinerja yang luar biasa baik dalam akuisisi maupun pelacakan dan modul ini juga didesain untuk menghemat ruang, yang menjadikan modul ini ideal untuk perangkat mini. L86 menggunakan EASY (*Embedded Assist System*) yang memungkinkan modul untuk menghitung dan memprediksi orbit secara otomatis, dengan LOCUS (*Internal Logger*) yang memungkinkan modul untuk mentat informasi posisi ke memori flash internal, dan *AlwaysLocate* untuk mencapai akurasi yang tepat dengan konsumsi daya rendah[7].

E. SenseCAP M2 Multi-Platform Gateway



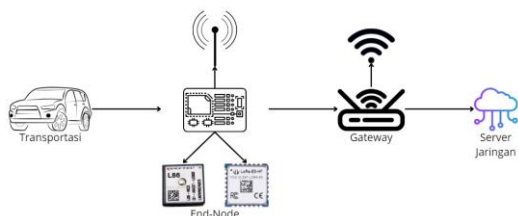
GAMBAR 4
SenseCAP M2 Multi-Platform Gateway

SenseCAP M2 Multi-Platform Gateway adalah standar gateway LoRaWAN yang mendukung koneksi ke server jaringan yang berbeda. Perangkat ini dikembangkan oleh Seeed Studio yang mendukung paket frekuensi LoRaWAN global dari 865 MHz hingga 923 MHz dan dapat digunakan di berbagai aplikasi LoRaWAN seperti *Smart Building*, *Precision Farming*, dll. Perangkat ini juga memiliki jangkauan yang luas dan kemampuan dengan keluaran yang kuat serta fitur-fitur lainnya, yang menjadikannya sebagai gateway yang sempurna untuk membangun jaringan LoRaWAN[8].

III. METODE

A. Perancangan Sistem

Proyek ini dilakukan secara berkelompok. Pembagian kelompok di sini meliputi pembuatan PCB mikrokontroler, pembuatan PCB power, pembuatan *firmware* mikrokontroler lora, pembuatan *firmware* GPS. Berikut merupakan alur diagram perancangan sistem yang dibuat untuk penulis:



GAMBAR 5
Diagram Perancangan Sistem

Sistem dipasang di dalam atau di luar mobil agar mendapatkan sinyal. Sistem dirancang dengan menggunakan modul LoRa-E5 sebagai modul dengan teknologi LoRa yang mendukung protokol LoRaWAN dan sudah terdapat chip STM32WLE5JC. Dan modul Quectel L86-M33 sebagai modul yang mendukung teknologi GPS. Dan juga terdapat antena eksternal untuk kedua modul tersebut agar mendapatkan sinyal. Semua modul-modul tersebut dijadikan menjadi satu dalam PCB yang mana agar mengurangi biaya pembelian. Modul Quectel terhubung dengan modul LoRa-E5 sebagai *end-node*. Modul Quectel akan menerima sinyal dari satelit dan menghitung koordinat lokasi. Kemudian, STM32WLE5JC akan menerima data dari Quectel, memproses, dan menyiapkannya untuk dikirim ke LoRaWAN Gateway. Antena eksternal digunakan untuk

memperkuat sinyal masing-masing modul. LoRaWAN Gateway menerima sinyal dari *end-node* dan meneruskan pengiriman data ke server jaringan menggunakan internet yang tersedia di sekitar gateway. Lalu, server jaringan akan memproses dan menyimpan data yang dikirimkan *end-node* melalui gateway. Sehingga pengguna dapat melihat data yang telah di proses oleh server dan juga dapat melihat kondisi perangkat yang didaftarkan.

B. Kebutuhan Perangkat

1. Perangkat Keras

TABEL 1
Perangkat Keras

No.	Nama Perangkat	Fungsi
1.	SenseCAP M2 Multi-Platform Gateway	Digunakan untuk menghubungkan perangkat IoT yang menggunakan teknologi LoRaWAN dengan jaringan internet. Gateway ini nantinya akan menerima data dari perangkat LoRa dan mengirimkannya ke server.
2.	LoRa-E5 Mini	Sebagai mikrokontroler utama LoRa. Digunakan untuk mengirim data lokasi menggunakan protokol LoRaWAN.
3.	Quectel L86-M33	Sebagai modul GPS yang menawarkan fungsi penentuan posisi dengan akurasi tinggi. Digunakan untuk melacak lokasi dan menyediakan data posisi yang dapat diintegrasikan ke dalam berbagai aplikasi.
4.	Power Supply	Digunakan untuk memberikan sumber tegangan untuk PCB yang sudah dibuat
5.	ST-Link V2 Mini	Sebuah perangkat <i>debugger/programmer</i> yang digunakan untuk mengunggah kode dan melakukan <i>debugging</i> pada mikrokontroler STM32.
6.	USB (Universal Serial Bus)	Antarmuka standar yang digunakan untuk menghubungkan perangkat elektronik ke komputer atau sumber daya lainnya, digunakan untuk transfer data, pengisian daya, dan komunikasi antara perangkat. Pada proyek ini, digunakan sebagai sumber power seperti halnya power supply.

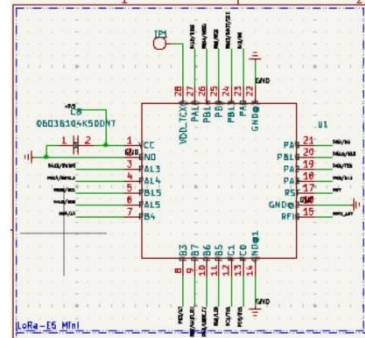
2. Perangkat Lunak

TABEL 2
Perangkat Lunak

No.	Nama Perangkat	Fungsi
1.	Kicad 8	Digunakan untuk mendesain skematik dan pembuatan PCB

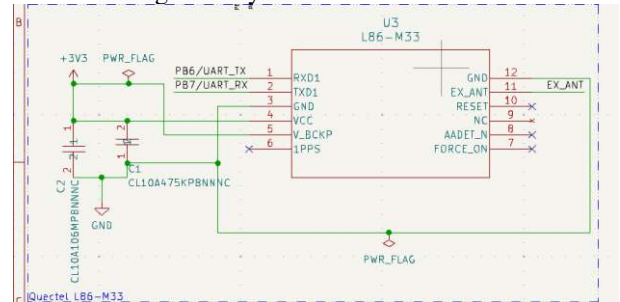
		(<i>Printed Circuit Board</i>). Dan juga, bisa digunakan untuk mencatat komponen-komponen yang diperlukan untuk dipasang langsung pada PCB yang dicetak di JLCPCB.
2.	ChirpStack	Sebagai LoRaWAN server yang digunakan untuk memantau dan mengumpulkan data yang berasal dari <i>End-node</i> melalui Gateway, yang mungkin akan disalurkan kepada <i>application server</i> Perusahaan yaitu FMS (<i>Fleet Management System</i>).
3.	STM32Cube IDE	Sebagai alat untuk membuat, mengedit, mengompilasi, dan melakukan <i>debugging</i> sebuah kode yang akan diunggah untuk melihat berjalan atau tidaknya suatu kode ke dalam mikrokontroler yaitu STM32WLE5JC/LoRa-E5 mini.
4.	JLCPCB	Digunakan sebagai platform untuk mencari barang yang tersedia di JLCPCB untuk memudahkan proses percetakan PCB dan sebagai alat untuk menghitung impedansi.

protokol lorawan. Dan juga, LoRa radio dan mikrokontroler ARM Cortex-M4 sudah terintegrasi dalam satu chip yang dapat menghemat ruang untuk pembuatan desain PCB nantinya. Berikut adalah gambar detail untuk rangkaian pada LoRa-E5:



GAMBAR 7 Rangkaian Modul LoRa

Pada gambar diatas, terlihat bahwa terdapat satu kapasitor yang mana kapasitor tersebut merupakan kapasitor *decoupling* (penstabil). Biasanya, nilai dari kapasitansinya itu kecil (contoh: 0,1µF) dan ditempatkan dekat pada pin suplai daya untuk menyaring noise dengan frekuensi tinggi. Kapasitor ini membantu menyerap gangguan listrik yang dapat muncul dari perubahan beban yang cepat, misalnya ketika modul tiba-tiba mulai memproses data atau melakukan transmisi. Tidak hanya di modul LoRa-E5, kapasitor *decoupling* juga terdapat pada modul Quectel L86-M33. Berikut adalah gambarnya:

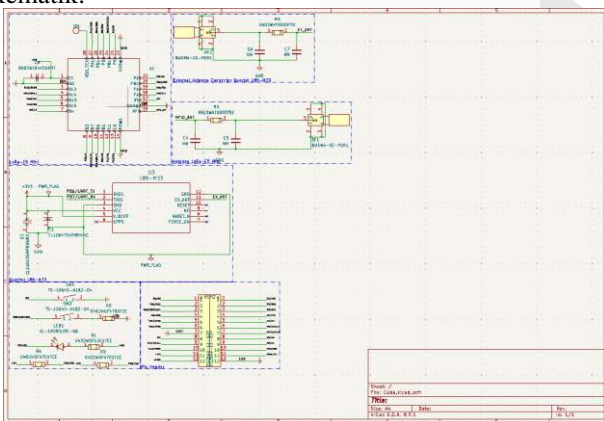


GAMBAR 8 Rangkaian Modul GPS

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Skematik

Seperti pada umumnya, ketika ingin membuat PCB maka hal pertama yang harus dilakukan adalah membuat desain skematik terlebih dahulu. Pembuatan desain skematik dilakukan secara paralel dengan melakukan pemilihan komponen. Berikut adalah hasil akhir dari pembuatan skematik:



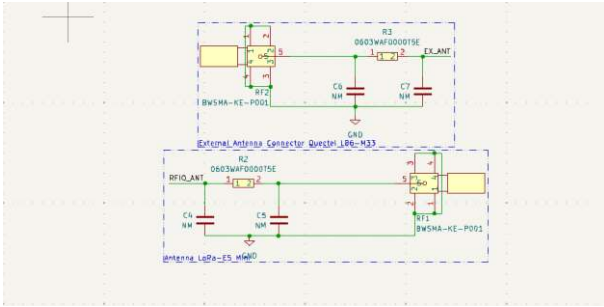
GAMBAR 6 Hasil Akhir Desain Skematik

Terlihat pada gambar, bahwa modul LoRa-E5 menjadi mikrokontroler utama Karena didalamnya terdapat chip mikrokontroler STM32WLE5JC yang merupakan salah satu produk dari keluarga STM32 yang secara khusus dirancang untuk komunikasi nirkabel jarak jauh dengan menggunakan

Menggunakan modul Quectel L86-M33 sangat cocok dengan penggunaan modul LoRa-E5 dikarenakan modul tersebut juga mengkonsumsi daya yang rendah dan juga dengan desain yang kecil untuk menghemat ruang dalam pembuatan PCB. Komunikasi antara kedua modul tersebut dilakukan melalui antarmuka UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), yang merupakan protokol serial sederhana dan efisien untuk mengirimkan data antara dua perangkat. Untuk melihat detail desain kedua modul tersebut, bisa mencari di *datasheet* milik kedua modul tersebut atau dari chip yang ada di dalam modulnya (seperti : STM32WLE5JC).

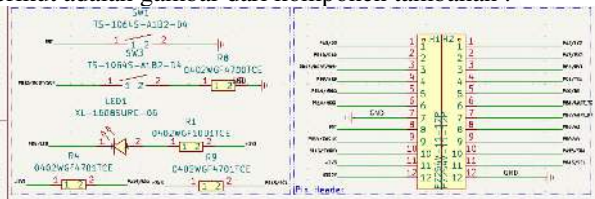
Lalu, penulis membuat desain untuk antenna eksternal juga yang berfungsi untuk memperkuat sinyal, meminimalisir gangguan karena terletak jauh dari komponen lainnya, dan memiliki impedansi yang teroptimasi (misalnya 50Ω). Pada penggunaan antenna eksternal, terdapat beberapa kapasitor yang mungkin digunakan sebagai komponen tuning. Yang berfungsi untuk menyetel impedansi rangakain agar sesuai

dengan frekuensi operasional. Seperti pada gambar skematik berikut:



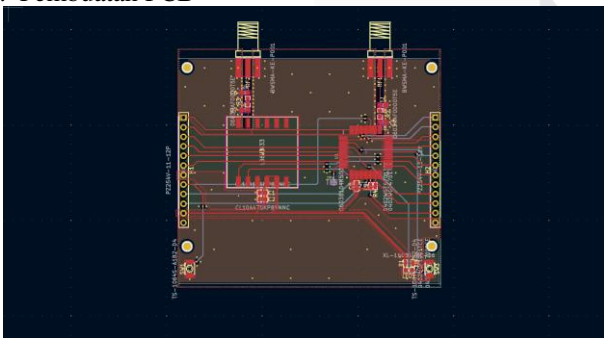
GAMBAR 9 Rangkaian Antena Eksternal

Dan juga terdapat konektor pin header yang terhubung dengan pin-pin mikrokontroler agar mendapatkan sumber daya tegangan dan bisa digunakan untuk terhubung ke berbagai aplikasi (seperti penambahan sensor). LED yang terhubung ke salah satu pin mikrokontroler yang bisa digunakan sebagai indikator. Dan *push button* yang terhubung ke pin reset yang berfungsi sebagai menginisialisasi ulang mikrokontroler dan terhubung ke pin boot mikrokontroler yang berfungsi untuk mengakses mode bootloader mikrokontroler. Dan juga terdapat resistor yang terhubung antara power dan pin SCL/SDA pada mikrokontroler yang disebut sebagai resistor *pull-up* berfungsi untuk memastikan sinyal I2C berfungsi dengan baik dan komunikasi dapat berlangsung dengan benar. Berikut adalah gambar dari komponen tambahan :



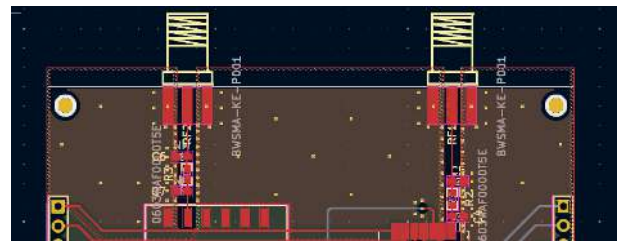
GAMBAR 10 Komponen Tambahan

B. Pembuatan PCB



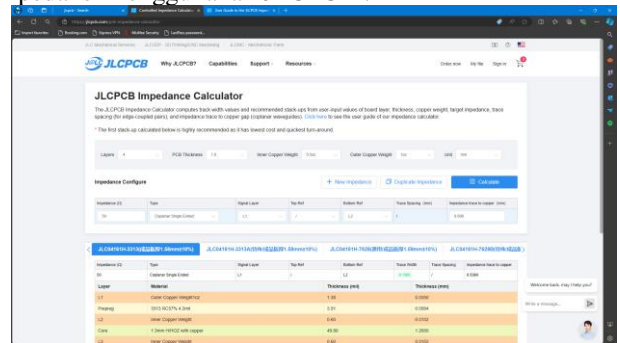
GAMBAR 11 Hasil Akhir Desain PCB

Berikut adalah hasil akhir dari pembuatan desain PCB. Dapat dilihat seperti yang sudah dijelaskan pada pembuatan skematik, kapasitor decoupling pada masing-masing modul ditempatkan di dekat dengan modulnya untuk memastikan stabilitas suplai di setiap bagian modul. Terdapat beberapa hal penting dalam mendesain PCB, yang pertama adalah pembuatan jalur pada antena eksternal untuk memastikan performa sinyal yang optimal dan menghindari masalah interferensi. Berikut adalah gambar jika dilihat lebih dekat :



GAMBAR 12 Jalur Antena

Penulis menggunakan konektor antena eksternal dengan jenis SMA karena menyesuaikan dengan antena yang disediakan oleh modul. Jalur yang menghubungkan pin RF (antena) dengan konektor antena harus memiliki impedansi yang terkontrol, dapat dilihat di *datasheet* masing-masing modul itu sekitar 50Ω. Biasanya, untuk mendapatkan kontrol impedansi yang baik dapat menggunakan kalkulator impedansi yang disediakan oleh software desain PCB atau bisa menggunakan kalkulator impedansi yang disediakan oleh penyedia PCB seperti JLCPCB. Hasil perhitungan tersebut akan menghasilkan lebar jalur, jarak antara jalur antena dengan *ground plane*, ketebalan lapisan tembaga, dan kapasitas dielektrik substrat. Berikut adalah hasil perhitungan impedansi menggunakan JLCPCB :

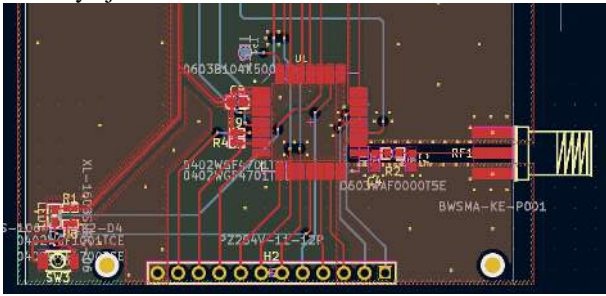


GAMBAR 13 Kalkulator Impedansi

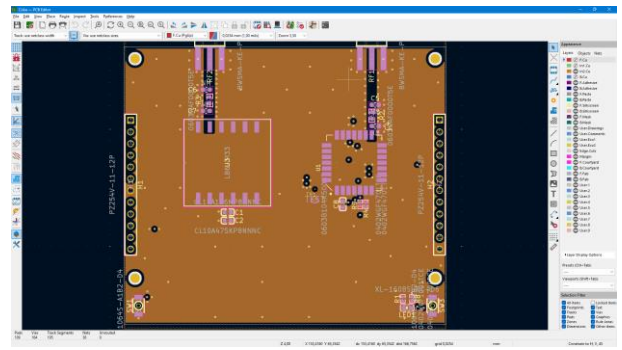
Gambar di atas menunjukkan penggunaan kalkulator impedansi di situs JLCPCB untuk merancang jalur antena pada PCB. Pada gambar, konfigurasi yang dipilih adalah PCB dengan 4 layer, ketebalan PCB 1.6mm, berat tembaga bagian dalam 0.5 oz, dan berat tembaga bagian luar 1 oz. Penulis mengatur target impedansi sebesar 50 Ohm dengan tipe jalur "*Coplanar Single Ended*". Terbagi menjadi 2 kalimat, "*Coplanar*" yang berarti bahwa jalur sinyal dan bidang referensi (biasanya ground) berada pada lapisan yang sama di PCB, jalur sinyal dikelilingi oleh 2 jalur ground di kedua sisinya. Sedangkan, "*Single Ended*" berarti bahwa sinyal yang dikirimkan hanya memiliki jalur sinyal aktif, sedangkan jalur sinyal lainnya dihubungkan ke ground.

Dan hal penting lainnya adalah penempatan via ground di tempat yang kosong dan ketika terdapat jalur sinyal yang menembus lapisan. Alasan penempatan via ground di daerah kosong adalah untuk memastikan koneksi ground yang kuat dan untuk mengurangi interferensi elektromagnetik dengan menciptakan jalur balik yang lebih baik untuk sinyal frekuensi tinggi, menjaga integritas gorund plane, dan meminimalkan crosstalk. Dan tujuan via ground yang menghimpit jalur sinyal yang menembus lapisan adalah untuk memastikan sinyal memiliki *return path* yang dekat, mengurangi *loop area*, meminimalkan interferensi, dan

menjaga impedansi yang terkendali. Berikut adalah gambarnya jika dilihat lebih dekat :

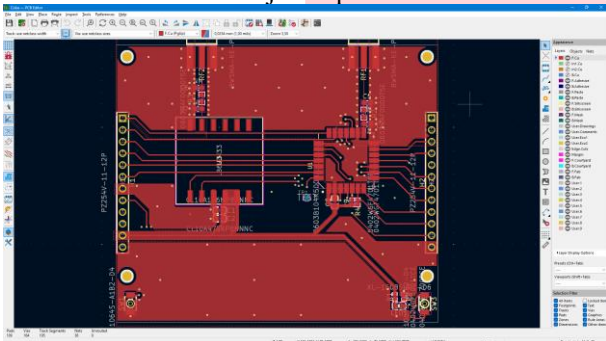


GAMBAR 14
Via Ground



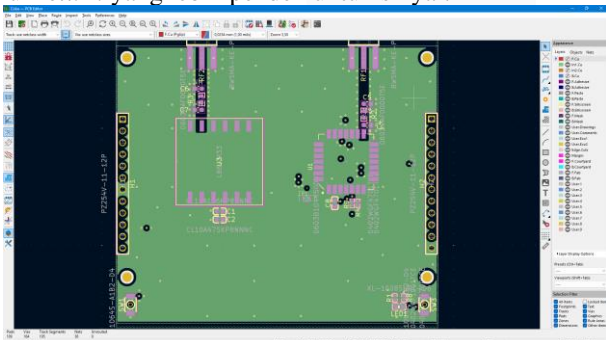
GAMBAR 17
Lapisan 3

Dikarenakan proses desain PCB menggunakan 4 layer, maka hasil akhir akan menjadi seperti berikut ini:



GAMBAR 15
Lapisan 1

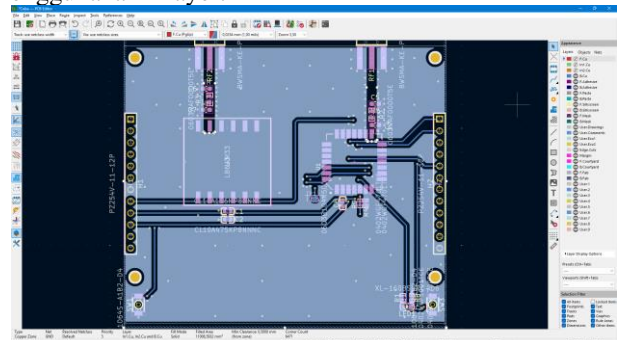
Pada layer 1, penulis menempatkan jalur sinyal dan juga beberapa area ground (GND) dan area tegangan (VCC). Layer ini berfungsi sebagai bagian atas dari PCB, di mana komponen dipasang dan sinyal utama ditransmisikan. Penambahan ground di beberapa bagian berguna untuk mengurangi gangguan sinyal (*noise*) dengan memberikan jalur *return* yang lebih pendek untuk sinyal.



GAMBAR 16
Lapisan 2

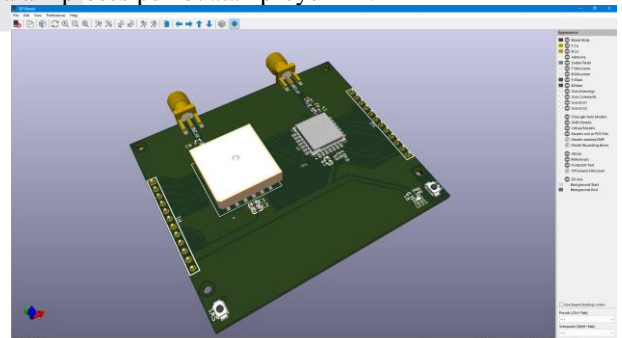
Pada layer 2, sepenuhnya didedikasikan untuk ground. Menyediakan satu layer penuh untuk ground akan membantu dalam mengurangi impedansi *return path*, mengurangi gangguan elektromagnetik (EMI), dan memperbaiki integritas sinyal secara keseluruhan. Dan juga membantu dalam meminimalkan *loop* area dari sinyal *return*, yang sangat penting dalam desain berkecepatan tinggi.

Pada layer 3, biasanya area ini sepenuhnya dialokasikan untuk distribusi daya atau tegangan (VCC). Dengan memiliki layer khusus untuk daya, distribusi tegangan menjadi lebih stabil dan merata di seluruh PCB, mengurangi kemungkinan gangguan yang disebabkan oleh fluktuasi tegangan. Dan juga memungkinkan jalur daya memiliki jalur yang pendek dan lebar, yang mengurangi induktansi dan resistensi. Hanya saja, penulis mengalokasikan seluruh bagian layer 3 ini untuk ground, dikarenakan desain yang dibuat oleh penulis memiliki sumber daya yang sedikit dan juga merupakan sebuah hasil desain awal bagi penulis untuk desain PCB menggunakan 4 layer.



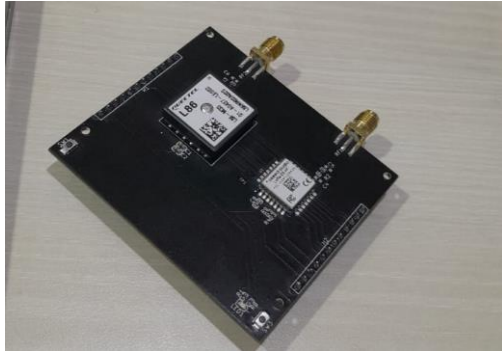
GAMBAR 18
Lapisan 4

Mirip dengan layer 1, layer 4 juga digunakan untuk sinyal dan area ground. Layer ini merupakan bagian bawah dari PCB. Dengan mendistribusikan sinyal pada layer atas dan bawah, penulis dapat lebih fleksibel dalam *routing* jalur sinyal, serta menjaga jarak antara sinyal dan ground yang konsisten, yang sangat penting untuk menjaga integritas sinyal. Berikut adalah gambar desain 3D yang dihasilkan dalam proses pembuatan proyek ini:



GAMBAR 19
3D Desain

Jika merasa proyek ini selesai, maka penulis akan mengajukan hasil dari desain PCB ini ke *Lead of Hardware Engineer* untuk melakukan *review* agar tidak menimbulkan masalah yang kompleks saat melakukan proses percetakan PCB dan uji coba hasilnya. Jika tidak ada masalah, maka *Lead* akan mengatur proses jalannya untuk melakukan percetakan PCB. Beberapa PCB sudah langsung dihubungkan langsung dengan komponennya ketika proses percetakan. Berikut adalah hasil PCB *prototipe* yang sudah di desain dan di cetak:



GAMBAR 20 Hasil Cetak Desain

Gambar di atas merupakan hasil pengukuran pada modul LoRa-E5 mini. Dalam datasheet STM32WLE5JC, chip tersebut membutuhkan suplai daya maksimal 3.9 V. Dan hasil pengukuran menunjukkan suplai daya sebesar 3.3 V setelah melewati kapasitor *decoupling* yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan yang masuk ke dalam chip tersebut. Sama halnya pengukuran tegangan pada modul LoRa-E5, pada modul Quectel L86-M33 juga dilakukan pengukuran tegangan yang masuk ke dalam modul tersebut setelah melewati kapasitor *decoupling*. Sama seperti modul LoRa-E5, modul Quectel membutuhkan suplai daya dengan maksimal 4.3 V dan dilihat dari hasil pengukurannya tidak melebihi batas maksimal. Berikut adalah hasil pengukuran suplai daya pada modul Quectel L86-M33 :



GAMBAR 23 Pengukuran Suplai Daya modul GPS

C. Pengujian

1. Testing Power



GAMBAR 21 Pengukuran Arus

Pada gambar di atas, dilakukan testing arus yang digunakan ketika mengirim data melalui PCB power yang didalamnya terdapat rangkaian *BUCK-CONVERTER*. jika kita asumsikan bahwa kita memakai baterai dengan kapasitas baterai 5000 mAh dan terlihat arus yang digunakan sebesar 0.029 A. Maka, jika kita masukkan ke dalam rumus : $Waktu\ Operasi\ (Jam) = \frac{Kapasitas\ baterai\ (mAh)}{Konsumsi\ arus\ total\ (mA)}$ akan menjadi $Waktu\ Operasi\ (Jam) = \frac{5000\ mAh}{29\ mA} = 172.41\ jam$. Dan jika dikonversi ke dalam hari maka akan seperti berikut : $Waktu\ Operasi\ (Jam) = \frac{172.41\ jam}{24\ jam/hari} = \pm 7\ hari$.

2. Testing Upload dan Debug

Pada tahap pengujian, penulis hanya menjadi sebagai pembantu untuk melakukan beberapa percobaan dikarenakan dalam proyek ini dilakukan secara berkelompok dengan berisi 4 orang, di antaranya membuat *firmware* untuk melacak lokasi menggunakan Quectel L86-M33, membuat *firmware* untuk protocol LoRaWAN menggunakan LoRa-E5 mini, membuat desain PCB power, dan membuat desain *controller* utama yang merupakan *job desk* yang dikasih ke penulis. Ketika PCB sudah di cetak dan sampai ke tempat tujuan, pertama-tama dilakukan pengecekan terhadap barang. Gambar di bawah ini merupakan hasil jika PCB mikrokontroler digabungkan dengan PCB power:

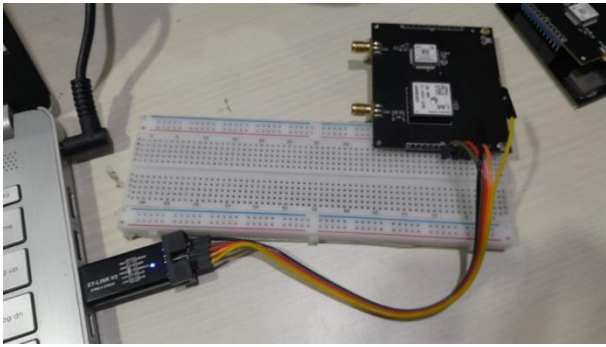


GAMBAR 24 Gabungan PCB Mikrokontroler dan Power

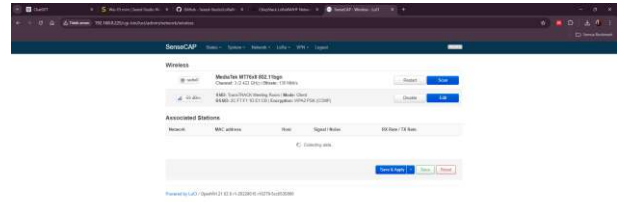
Lalu, mencoba *testing upload* program dari *template* yang disediakan dalam tutorial awal yang dijelaskan oleh Seeed Studio[9]. Hubungkan perangkat dengan laptop/PC yang tersedia dengan perangkat yang akan diuji coba menggunakan STLink V2 mini dengan membutuhkan pin 3.3V, GND, SWDIO, dan SWCLK.



GAMBAR 22 Pengukuran Suplai Daya Modul LoRa

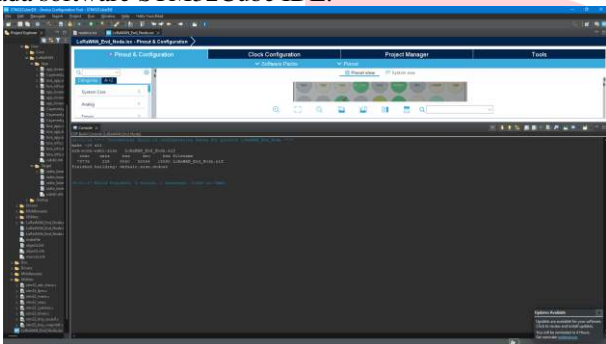


GAMBAR 25 Sambungan End-Node dengan Device



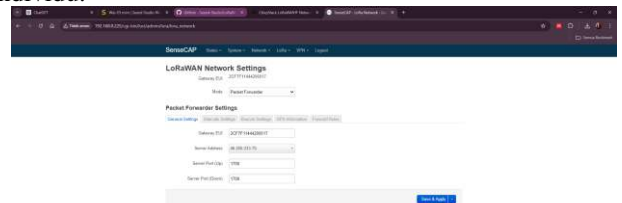
GAMBAR 28 WIFI Connection

Lakukan proses debug hingga muncul file “.elf” / “.hex” pada software STM32Cube IDE.



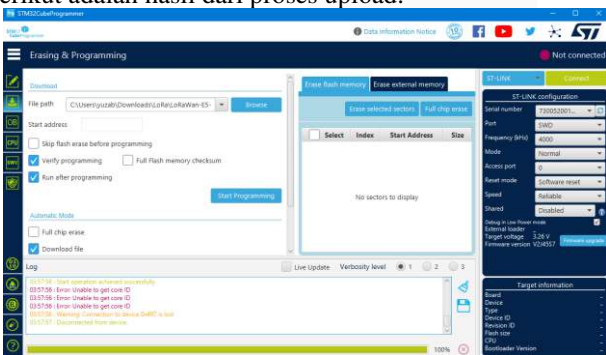
GAMBAR 26 Hasil Debug Program

Lalu, penulis mengatur konfigurasi LoRaWAN Network. Antarmuka ini memungkinkan pengguna untuk melakukan konfigurasi pengaturan jaringan LoRaWAN, khususnya pada bagian “Package Forwarder” yang akan bertindak sebagai perantara yang meneruskan paket data yang diterima dari node (perangkat) LoRaWAN ke server jaringan LoRaWAN yang ditentukan. Dalam kasus ini, penulis mendiskusikan dengan anggota kelompok untuk server jaringan yang akan dipakai agar tidak terjadi kesalahpahaman antar individu.



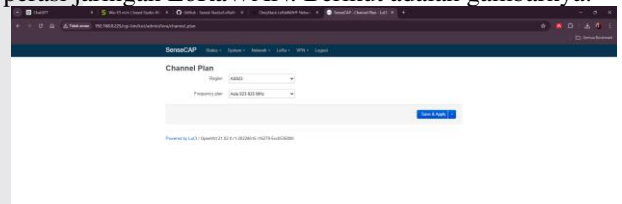
GAMBAR 29 Konfigurasi LoRaWAN Network

Buka software STM32Cube Programmer, lakukan koneksi antara perangkat dengan laptop. Masuk ke menu “Erasing & Programming”, klik tombol “browser” dan pilih file yang sudah di debug dengan format “.hex”. Klik tombol “Start Programming” untuk memulai proses upload file ke mikrokontroler dan tunggu hingga selesai. Hubungan antara mikrokontroler dengan laptop akan terputus secara otomatis. Berikut adalah hasil dari proses upload:



GAMBAR 27 Hasil Upload Program

Lalu, atur Channel Plan pada jaringan LoRaWAN. Antarmuka ini memungkinkan pengguna untuk memilih pengaturan Region dan Frequency Plan yang sesuai untuk operasi jaringan LoRaWAN. Berikut adalah gambarnya:



GAMBAR 30 Konfigurasi Channel Plan

Jika proses debug dan upload dinyatakan berhasil, maka dapat dikatakan bahwa perangkat dapat berfungsi dengan baik.

3. Konfigurasi Gateway

Lalu, penulis juga melakukan pengoperasian terhadap gateway LoRaWAN. Penulis menghubungkan gateway dengan jaringan WIFI yang ada di perusahaan agar gateway dapat mengirimkan data ke server jaringan. Berikut adalah gambarnya:

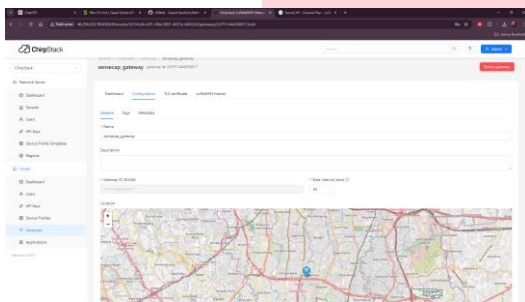
Berikut adalah gambar hasil konfigurasi yang menandakan gateway terhubung dengan server jaringan menggunakan jaringan internet:



GAMBAR 31 Hasil Konfigurasi Gateway

4. Konfigurasi Platform Chirpstack

Lalu, buka platform chirpstack pada web dan daftarkan gateway yang ingin diuji pada menu “Gateway” dengan memasukkan nama gateway, Gateway ID, dan Stats Interval. Berikut adalah hasil konfigurasi gateway pada platform:



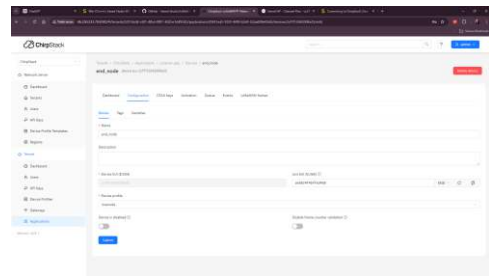
GAMBAR 32 Menambahkan Gateway ke dalam Server Jaringan

Kemudian, tambahkan perangkat yang digunakan sebagai alat uji coba pada platform chirpstack, berfungsi sebagai memantau bahwa perangkat sedang dalam keadaan hidup/mati. Untuk menambahkan perangkat ke dalam platform, dibutuhkan “Device EUI”. Cara mendapatkan Device EUI perangkat, biasanya tertera di perangkat tersebut (di dalam kotak awal pembelian/ditempel di perangkat) atau bisa juga *scan barcode* yang tertera di perangkat tersebut. Berikut adalah contoh *scan barcode* pada perangkat agar bisa mendapatkan kode Device EUI menggunakan Handphone:



GAMBAR 33 Scan Barcode

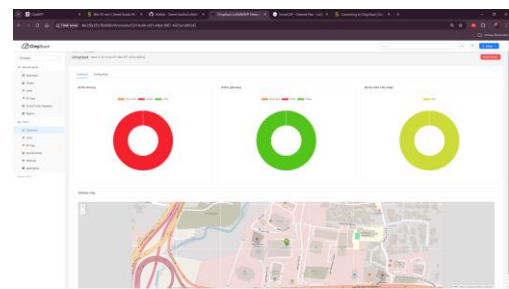
Di bawah ini merupakan gambar hasil dari konfigurasi perangkat:



GAMBAR 34 Menambahkan Perangkat ke dalam Server Jaringan

Ketika sudah menambahkan perangkat ke dalam platform, kita akan mendapatkan ID Join EUI. Join EUI adalah salah satu parameter penting dalam proses penggabungan perangkat ke jaringan LoRaWAN, terutama ketika menggunakan metode *Over-the-Air Activation (OTAA)* di platform. Join EUI membantu dalam memastikan bahwa hanya perangkat yang sah dan terdaftar yang dapat bergabung dengan jaringan. Hal ini penting untuk mencegah perangkat yang tidak sah atau yang tidak terdaftar untuk mengakses jaringan.

Jika sudah selesai melakukan konfigurasi pada platform, maka penulis dapat memantau perangkat dan gateway tersebut yang menyatakan ON/OFF. Berikut adalah tampilan untuk memantau perangkat dari hasil konfigurasi:



GAMBAR 35 Hasil Konfigurasi Platform/Server Jaringan

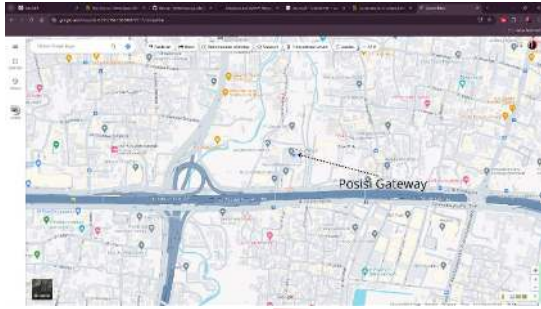
5. Testing Perangkat

Penulis juga membantu untuk melakukan testing alat yang sudah selesai di desain dan di konfigurasi. Pada tahap ini, gateway di taruh di dalam salah satu ruangan yang ada di kantor dengan posisi antena gateway berada di dekat jendela atau ruangan yang tidak tertutupi alat/bahan yang dapat menyebabkan gangguan terhadap komunikasi antara gateway dengan *end-node* yang berkomunikasi menggunakan protokol jaringan LoRaWAN.



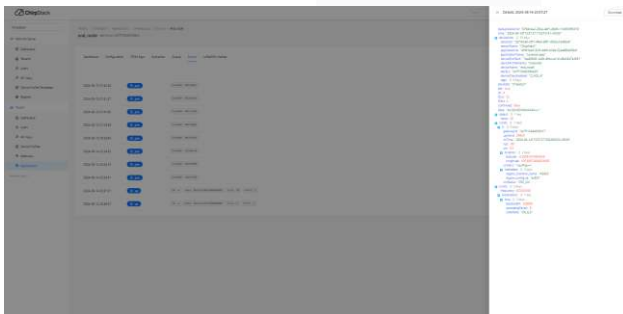
GAMBAR 36 Penempatan Gateway

Dengan salah satu anggota kelompok, penulis melakukan perjalanan untuk mengetes sejauh mana sinyal frekuensi LoRa yang dapat di transmisikan oleh gateway menuju *end-node*. Berikut adalah beberapa titik yang diuji coba:



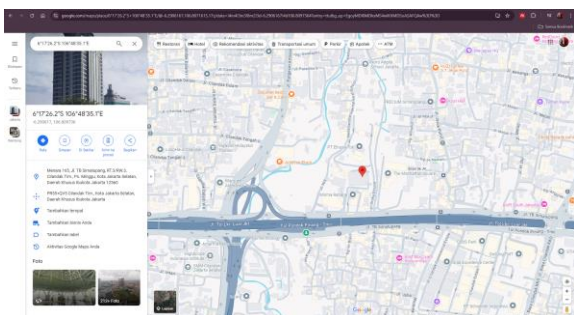
GAMBAR 37
Titik Lokasi

Titik 1, 2, dan 3, perangkat *end-node* dapat mengirimkan data ke gateway dan berhasil menampilkannya ke server jaringan LoRaWAN (ChirpStack). Hanya saja, pada titik 2 terdapat kendala yaitu penangkapan sinyal yang di transmisikan oleh gateway menjadi sulit di terima karena posisi gateway dengan *end-node* berbanding terbalik dan juga banyak bangunan-bangunan yang menghalangi sinyal LoRa. Sedangkan pada titik 4. *End-node* tidak dapat menerima sinyal LoRa yang ditransmisikan oleh gateway karena terdapat bangunan yang menghalangi sinyal dari gateway. Berikut adalah hasil *end-node* melakukan proses join atau mengirimkan data ke server jaringan melalui gateway:



GAMBAR 38
Hasil Pengiriman Data

Terlihat pada hasil data yang dikirimkan oleh *end-node* ke server jaringan melalui gateway LoRaWAN terdapat data lokasi (longitude dan latitude). Jika kita telusuri di google maps, maka data tersebut akan menampilkan letak keberadaan *end-node*. Berikut adalah hasil data yang di telusuri di google maps :



GAMBAR 39
Cek Hasil

Titik *end-node* tersebut berada pada titik yang sama dengan gateway berada. Data tersebut masuk ketika sedang menguji pengiriman data di dalam kantor dan gateway yang terletak di salah satu ruangan kantor yang lumayan jauh dari posisi *end-node*.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan implementasi dan beberapa pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembuatan alat prototipe yang telah diuji dapat berfungsi.
2. Data berhasil dikirimkan dan ditampilkan di server jaringan.

Menambahkan gateway di beberapa titik lainnya memungkinkan agar data dari *end-node* terkirim ke server jaringan jika lingkungan sekitar tidak memadai.

REFERENSI

- [1] D. C. Mahendra, T. Susyanto, and S. Siswanti, "Sistem Monitoring Mobil Rental Menggunakan GPS Tracker," *Jurnal Ilmiah SINUS*, vol. 16, no. 2, 2018.
- [2] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melia-Segui, and T. Watteyne, "Understanding the Limits of LoRaWAN," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 34–40, 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1600613.
- [3] K. K. Angelov, P. G. Kogias, and R. I. Pasarelski, "Application and Performance Analysis of LoRa End Devices for Monitoring of Indoor Lighting Systems," in *2023 XXXII International Scientific Conference Electronics (ET)*, IEEE, Sep. 2023, pp. 1–5. doi: 10.1109/ET59121.2023.10279194.
- [4] "LoRa PHY | Semtech." Accessed: Aug. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- [5] "What are LoRa and LoRaWAN? | The Things Network." Accessed: Aug. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/wh-at-is-lorawan/>
- [6] "Wio-E5 mini | Seeed Studio Wiki." Accessed: Aug. 05, 2024. [Online]. Available: https://wiki.seeedstudio.com/LoRa_E5_mini/
- [7] "GNSS L86 | Quectel." Accessed: Aug. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.quectel.com/product/gnss-l86/>
- [8] "SenseCAP M2 Multi-Platform Gateway Overview | Seeed Studio Wiki." Accessed: Aug. 05, 2024. [Online]. Available: https://wiki.seeedstudio.com/Network/SenseCAP_Network/SenseCAP_M2_Multi_Platform/SenseCAP_M2_Multi_Platform_Overview/
- [9] "Wio-E5 mini | Seeed Studio Wiki." Accessed: Aug. 15, 2024. [Online]. Available: https://wiki.seeedstudio.com/LoRa_E5_mini/